



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA

**Métodos Matriciais e Tensoriais como Suporte à Gestão nos Cursos de Engenharia e
Sistemas e Mídias Digitais na Universidade Federal do Ceará (UFC)**

Doutorando:

ALBANO OLIVEIRA NUNES

Orientador:

PROF. DR. JOÃO CESAR MOURA MOTA

Co-orientadores:

PROF. DR. WAGNER BANDEIRA ANDRIOLA

PROF. DR. ANDRÉ LIMA FÉRRER DE ALMEIDA

FORTALEZA

2015

ALBANO OLIVEIRA NUNES

Métodos Matriciais e Tensoriais como Suporte à Gestão nos Cursos de Engenharia e Sistemas e Mídias Digitais na Universidade Federal do Ceará (UFC)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Teleinformática.

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- N923m Nunes, Albano Oliveira.
Métodos matriciais e tensoriais como suporte à gestão nos Cursos de Engenharia e Sistemas e Mídias digitais na Universidade Federal do Ceará (UFC) / Albano Oliveira Nunes. – 2015.
124 f. : il. color. , enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática, Fortaleza, 2015.
Área de concentração: Sinais e Sistemas.
Orientação: Prof. Dr. João Cesar Moura Mota.
Coorientação: Prof. Dr. Wagner Bandeira Andriola.
Coorientação: Prof. Dr. André Lima Férrer de Almeida.
1. Teleinformática. 2. Tensor. 3. Ensino superior - Gerenciamento. 4. Avaliação educacional. I. Título.

ALBANO OLIVEIRA NUNES

**MÉTODOS MATRICIAIS E TENSORIAIS COMO SUPORTE À GESTÃO NOS
CURSOS DE ENGENHARIA E SISTEMAS E MÍDIAS DIGITAIS NA UFC**

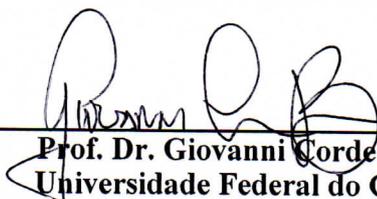
Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Teleinformática, área de concentração Sinais e Sistemas.

Aprovada em 23/02/2015.

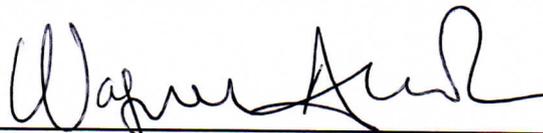
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. João Cesar Moura Mota (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC



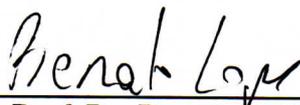
Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso
Universidade Federal do Ceará - UFC



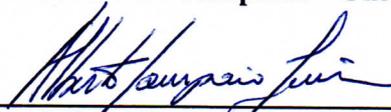
Prof. Dr. Wagner Bandeira Andriola
Universidade Federal do Ceará - UFC



Prof. Dr. Marcelo Sampaio de Alencar
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Prof. Dr. Renato da Rocha Lopes
Universidade de Campinas - Unicamp



Prof. Dr. Alberto Sampaio Lima
Universidade Federal do Ceará - UFC

À Deus.

À minha família.

Aos meus amigos.

Aos meus colegas.

Aos meus alunos.

À todos que estiveram comigo de forma direta ou indireta.

AGRADECIMENTOS

Não se constrói uma Tese de Doutorado sozinho, por isso faz-se necessário que se agradeça à todos de forma geral e a alguns de forma específica. Por isso agradeço ...

À Deus, por tudo que vem me proporcionando no decorrer da vida, principalmente, por eu sempre ter chegado de forma segura até aqui. Só assim pude aproveitar melhor alguns momentos pessoais e profissionais junto a alguns dos homenageados nesse trabalho.

Aos meus pais, meus grandes pilares de sustentação, Geraldo Romualdo Nunes e Terezinha Oliveira Nunes, em nome deles agradeço também à todos os meus familiares por sempre estarem ao meu lado animando, motivando e me brindando com amizade, carinho e amor.

Ao meu irmão, Albino Oliveira Nunes, pelo incentivo, motivação e parceria na vida e na profissão. O meu orgulho e admiração por ti só crescem, mesmo você falando que se inspirou em mim, sou eu quem procuro me inspirar no seu jeito de ser.

À minha filha, Ana Sophia Galdino de Sousa Nunes, pessoa que amo, pelos sorrisos, abraços e carinho revitalizantes. Aproveito para pedir desculpas pela ausência.

À minha namorada, Artemizia Ribeiro Lima Costa, um grande presente que ganhei quase no final desse ciclo, seu carinho e conforto foram muito importantes nos momentos mais conturbados da minha história recente.

Aos meus orientadores, professores Dr. João Cesar Moura Mota, Dr. Wagner Bandeira Andriola e Dr. André Lima Férrer de Almeida, pelo acompanhamento, atenção, dedicação e motivação no decorrer deste trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de luta acadêmica (em ordem alfabética): Aparecida Prado, Artur Oliveira, Fernando Filho, Herbert Lima, Lenilson Lopes, Paulo Gomes, Thiago Yachiley, Thomaz Silva, Vanessa Viana, pelo bom convívio e amizade adquirida por todo este tempo, que tiveram um papel fundamental no êxito desse ciclo.

À todos os colegas professores e aos demais companheiros de trabalho que passaram pela minha vida, estes contribuíram de certa forma com sua paciência e apoio para que eu dedicasse mais tempo à esta pesquisa.

À todos os meus alunos que contribuíram fortemente para que eu, a cada dia, tivesse a convicção de que estava na profissão certa.

E por fim, agradeço à todos que me incentivaram ou contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desta pesquisa.

Albano Oliveira Nunes

RESUMO

A formação oferecida pelas Instituições de Ensino Superior no Brasil, se encontra em processo de expansão, tanto em quantidade como em qualidade. Uma forma de controle dessa qualidade é feita por indicadores externos, tais como, ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio), ENADE (Exame Nacional de Desempenho de Estudantes), CPC (Conceito Preliminar de Curso), CC (Conceito de Curso). Contudo, é importante que as instituições tenham também suas estratégias internas de avaliação. Neste contexto, a avaliação educacional pode contribuir com os processos de aferição da qualidade dos cursos, buscando diagnosticar as necessidades de correção e de melhoria a respeito das atividades de suporte à formação dos estudantes de graduação, a partir de ações de gestão dos cursos. Este estudo apresenta resultados referentes ao desenvolvimento de um instrumento de avaliação dos processos vinculados a gestão, e sua consequente aplicação para análise e diagnóstico. O instrumento de pesquisa configurou-se em uma enquete formada por 15 afirmações, que são relacionadas com os aspectos da gestão do ensino superior, em que o respondente marcou o seu grau de concordância com as declarações. O estudo contou com a participação dos professores de seis dos cursos de Engenharia, sendo cinco do Centro de Tecnologia e um do Centro de Ciências Agrárias e do curso de Sistemas e Mídias Digitais do Instituto Universidade Virtual, todos da Universidade Federal do Ceará (UFC). As respostas ao instrumento foram quantificadas e deram origem a um banco de dados, o que possibilitou sua análise por meio de métodos de álgebra linear (Matricial), *Principal Components Analysis* (PCA), e da álgebra multilinear (Tensorial), PARAFAC e Tucker. Os resultados mostram a viabilidade do uso dos métodos propostos para analisar aspectos da gestão acadêmica em nível superior. Os métodos se mostraram eficientes, devido à capacidade de extração e classificação de informações latentes sobre gestão acadêmico-administrativa contidas nos dados sobre os cursos. Esta pesquisa indica que o instrumento e os métodos propostos são capazes de contribuir para a avaliação educacional de forma a produzir resultados que podem gerar ações para fins de melhoria dos processos de formação dos estudantes.

Palavras-chave: PCA, Tensor, Gestão do Ensino Superior, Avaliação Educacional.

ABSTRACT

The training offered by higher education institutions in Brazil is expanding, both in quantity and in quality. One way that quality control is performed is by external indicators, such as, e.g.: ENEM (National Secondary Education Examination), ENADE (National Examination of Student Performance), CPC (Preliminary Course's Concept), CC (Concept of Course). However, it is important that institutions also have their internal assessment strategies. In this context, the educational evaluation may contribute to the quality of courses, in order to diagnose the improvement and correction needs about the support activities of graduate students from the course management actions. This study is based on the development of an instrument and its application for analysis and diagnosis. The instrument is a survey consisting of 15 statements related to aspects of higher education management, in which the respondent marks his level of agreement with statements. The study had the participation of teachers of six of the engineering course and the Systems and Digital Media course, of the Federal University of Ceará(UFC). The answers to the instrument were quantified, which resulted in a database, that was analysed by Matrix methods, Principal Components Analysis (PCA) and Tensor Tucker. The results show the feasibility of using the proposed methods to analyze aspects of academic management of higher education. The methods were efficient due to the extraction capacity and latent information classification about academic and administrative management contained in the data of the courses. This study indicates that the instrument and the proposed methods are able to contribute to the educational evaluation in such a way to produce results that can generate actions in order to improve learning processes of students.

Keywords: PCA, Tensor, Higher Education Management, Educational Evaluation.

LISTA DE FIGURAS

2.1.1 Fluxograma do Processo de Avaliação Institucional (BRASIL MEC, 2003) . . .	37
2.2.1 Evolução Histórica das Escolas de Engenharia do Brasil. Fonte: (ROCHA <i>et al.</i> , 2007)	45
2.2.2 Modelo de Tecnologia Fonte:(LAYTON, 1988)	48
2.2.3 Gráfico comparativo da oferta de profissionais de Engenharia por Instituições Públicas e Privadas. Fonte:(OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	52
2.2.4 Matrículas em Engenharia em vários países. Fonte:(OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013) . .	53
2.2.5 Matrículas em Engenharia por milhão de habitantes. Fonte:(OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	54
2.2.6 Formação por Níveis em diversos países. Fonte:(OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013) . . .	54
3.2.1 Retas selecionadas de um tensor de ordem três, apenas uma dimensão varia para cada reta, imagem retirada do artigo. Fonte: (KOLDA; BADER, 2009)	63
3.2.2 Cada corte em modos um, dois e três respectivamente, imagem retirada do artigo. Fonte: (KOLDA; BADER, 2009)	64
3.2.3 Representação pictográfica da decomposição PARAFAC como somatório de tensores de <i>rank</i> -1.	67
3.2.4 Representação pictórica da decomposição PARAFAC com uso das matrizes fatores e do tensor núcleo.	67
3.2.5 Representação pictórica da decomposição Tucker3	70
4.2.1 Tela de abertura da pesquisa.	79
4.2.2 Tela de abertura da enquete.	79
4.3.1 (a) Estrutura de dados trimensional (tensor) de dimensões 23 avaliadores \times 15 assertivas \times 2 cursos; (b) Matriciação dos dados pela concatenação das fatias relacionadas ao tipo de curso com dimensões 15 assertivas \times 46 avaliadores. . .	80

5.1.1	Histograma das médias das respostas nas 3 bases.	83
5.1.2	Histograma das variâncias das respostas nas 3 bases.	83
5.1.3	Histograma da incidência de respostas na Questão A_1	84
5.1.4	Histograma da incidência de respostas na Questão A_2	84
5.1.5	Histograma da incidência de respostas na Questão A_3	85
5.1.6	Histograma da incidência de respostas na Questão A_4	85
5.1.7	Histograma da incidência de respostas na Questão A_5	86
5.1.8	Histograma da incidência de respostas na Questão A_6	86
5.1.9	Histograma da incidência de respostas na Questão A_7	86
5.1.10	Histograma da incidência de respostas na Questão A_8	87
5.1.11	Histograma da incidência de respostas na Questão A_9	87
5.1.12	Histograma da incidência de respostas na Questão A_{10}	88
5.1.13	Histograma da incidência de respostas na Questão A_{11}	88
5.1.14	Histograma da incidência de respostas na Questão A_{12}	88
5.1.15	Histograma da incidência de respostas na Questão A_{13}	89
5.1.16	Histograma da incidência de respostas na Questão A_{14}	89
5.1.17	Histograma da incidência de respostas na Questão A_{15}	90
5.1.18	Matriz de coeficientes de correlação das Engenharias	90
5.1.19	Matriz de Coeficientes de Correlação do Curso SMD	91
5.1.20	Matriz de Coeficientes de Correlação das Engenharias e do Curso SMD	92
5.2.1	Comunalidade de B_1	94
5.2.2	Gráfico Scree B_1	95
5.2.3	Variância Acumulada de B_1	95
5.2.4	Relação $CP1 \times CP2$	96
5.2.5	Relação $CP1 \times CP3$	97
5.2.6	Relação $CP2 \times CP3$	97

5.2.7	Comunalidade de B_2	99
5.2.8	Gráfico Scree B_2	100
5.2.9	Variância Acumulada de B_1	101
5.2.10	Relação CP1 \times CP2.	101
5.2.11	Comunalidade de B_3	103
5.2.12	Gráfico Scree 3.	103
5.2.13	Carregamentos do Gráfico PCA1.	104
5.2.14	Carregamentos do Gráfico PCA2.	105
5.3.1	Resultado da Convergência do Modelo PARAFAC para <i>ranks</i> 2, 6, 11 e 22. . .	107
5.3.2	Variância explicada em cada dimensão tensor CP2	108
5.3.3	Relação entre as componentes $\mathbf{b}_1 \times \mathbf{b}_2$	109

LISTA DE TABELAS

1	Indicadores Externos, Fonte: <i>site</i> e-MEC	76
2	Enquete com as assertivas $A_i, i = 1, \dots, 15$	77
3	Grau de concordância com a assertiva.	78
4	Detalhamento quantitativo dos professores respondentes por curso.	80
5	Valores dos Teste de Validação de B_1	93
6	Detalhamento das assertivas por agrupamento e os α de Cronbach B_1	96
7	Valores dos Teste de Validação de B_2	99
8	Detalhamento das Assertivas por Agrupamento e os α de Cronbach B_2	101
9	Valores dos Teste de Validação de B_3	102
10	Variância explicada nos 2 estágios de B_3	104
11	Detalhamento das assertivas por agrupamento e o α de Cronbach B_3	105
12	Resultado dos pesos obtidos pelo tensor núcleo \mathcal{G}	111
13	Classificações Qualis da Revista <i>IEEE Latin America Transactions</i>	146
14	Classificações Qualis da Revista <i>Ingeniería e Investigación</i>	155

LISTA DE SÍMBOLOS

x	Escalares
\mathbf{x}	Vetores
\mathbf{X}	Matrizes
\mathcal{X}	Tensores
$\mathbf{x} \cdot \mathbf{y}$	Produto interno entre \mathbf{x} e \mathbf{y}
$\mathbf{x} \circ \mathbf{y}$	Produto externo entre \mathbf{x} e \mathbf{y}
\mathbb{R}	Conjunto dos valores reais
\mathbb{R}^{I_1}	Vetor de dimensão I_1 com valores reais
$\mathbb{R}^{I_1 \times I_2}$	Matriz de dimensão $I_1 \times I_2$ com valores reais
$\mathbb{R}^{I_1 \times I_2 \times \dots \times I_N}$	Tensor de dimensão $I_1 \times I_2 \times \dots \times I_N$ com valores reais
\mathbf{A}^*	Conjugado de \mathbf{A}
\mathbf{A}^T	Transposto de \mathbf{A}
\mathbf{A}^H	Conjugado transposto ou Hermitiano de \mathbf{A}
\mathbf{A}^\dagger	Pseudo-inversa de Moore-Penrose de \mathbf{A}
$\ \cdot\ _F$	Norma de Frobenius da Matriz ou Tensor
\mathbf{I}_N	Matriz identidade de dimensão $N \times N$
x_{i_1, i_2}	(i_1, i_2) -ésimo elemento de $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{I_1 \times I_2}$
x_{i_1, i_2, \dots, i_N}	(i_1, i_2, \dots, i_N) -ésimo elemento de $\mathcal{X} \in \mathbb{R}^{I_1 \times I_2 \times \dots \times I_N}$
\times_n	Produto modo- n
$\mathbf{X}_{(n)}$	Matriciação modo- n de \mathcal{X}

$\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}$ Produto de Kronecker entre as matrizes \mathbf{A} e \mathbf{B}

$\mathbf{A} \odot \mathbf{B}$ Produto de Khatri-Rao entre as matrizes \mathbf{A} e \mathbf{B}

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Apresentação e Justificativa	19
1.2	Definindo o Tema e o Tipo de Pesquisa	21
1.3	O Contexto e a Relevância do Estudo	22
1.4	Objetivos e Problema do Estudo	23
1.4.1	Objetivo Geral	23
1.4.2	Objetivos Específicos	23
1.5	Estrutura da Tese	24
1.6	Produção Intelectual associada à Tese	24
2	AVALIAÇÃO NA EDUCAÇÃO SUPERIOR: CONTRIBUIÇÕES PARA A FORMAÇÃO EM ENGENHARIA E ALGUMAS CARREIRAS DA ÁREA TECNOLÓGICA	26
2.1	Avaliação: Conceitos e Teorias	27
2.1.1	Legislação da Avaliação do Ensino Superior	30
2.1.2	Avaliação Institucional e Indicadores Externos	35
2.2	O Panorama da Formação em Engenharia no Brasil	43
2.2.1	Contexto Histórico da Formação de Nível Superior em Tecnologia	43
2.2.2	Concepções de Tecnologia e Engenharia	47
2.2.3	Questões sobre a Formação em Engenharia	49
3	FERRAMENTAS MATEMÁTICAS PARA A AVALIAÇÃO EDUCACIONAL	56
3.1	Métodos de Análise Matricial	57

3.1.1	Análise de Componentes Principais — PCA	57
3.2	Métodos de Análise Tensorial	61
3.2.1	Notação tensorial e definições	62
3.2.2	Modelos de Decomposição Tensoriais	66
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	72
4.1	Contexto e Amostra	72
4.1.1	Os Professores e os Cursos Analisados	75
4.2	Elaboração do Instrumento de Pesquisa	76
4.2.1	Aplicação do Instrumento e Coleta de Dados	78
4.3	Tratamento dos Dados	79
5	ANÁLISE, DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	82
5.1	Estatística Descritiva	82
5.1.1	Valores de Médias	82
5.1.2	Análise Relativa das Dispersões	83
5.1.3	Análise de Correlação	90
5.2	Análise dos Componentes Principais (PCA) dos Dados	93
5.2.1	PCA dos Dados referentes às Respostas dos Professores dos Cursos de Engenharia	93
5.2.2	PCA dos Dados referentes às Respostas dos Professores do Curso de Sistemas e Mídias Digitais	98
5.2.3	PCA dos Dados referentes às Respostas dos Professores dos Cursos de Engenharia e de Sistemas e Mídias Digitais	102
5.3	Análise Tensorial	106
5.3.1	Modelo PARAFAC	106
5.3.2	Modelo Tucker3	107
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	113

6.1	Conclusões	113
6.2	Perspectivas	115
REFERÊNCIAS		117
Apêndice A – Enquete impressa aplicada com os professores do SMD		124
Apêndice B – Pseudocódigos para a implementação dos métodos matemáticos utilizados		128
B.1	Pseudocódigo para implementação do PCA	129
B.2	Pseudocódigo para implementação do PARAFAC	131
B.3	Pseudocódigo para implementação do TUCKER3	133
Apêndice C – Bases de dados utilizadas		135
C.1	Base de dados dos respondentes dos cursos de engenharias (B_1)	136
C.2	Base de dados dos respondentes do curso de sistemas e mídias digitais (B_2)	138
Apêndice D – Artigos publicados/aceitos produto da tese		140
D.1	Artigo aceito e publicado em anais de congresso - Frontiers in Education (FIE-Oklahoma 2013)	141
D.2	Artigo publicado na Revista <i>IEEE Latin America Transactions</i> - V. 13, N^o . 1	146
D.3	Artigo submetido à revista <i>Ingeniería e Investigación</i> da Facultad de Ingeniería Universidad de Colombia	155
Apêndice E – Artigos publicados/aceitos fruto de parcerias		162
E.1	Artigo aceito e publicado em anais de congresso - Wavalia Aracaju 2011	163
E.2	Artigo aceito e publicado em anais de congresso - <i>Computer on the Beach</i> Florianopolis 2012	175
Anexo A – Notas técnicas de cálculos - INEP		186
A.1	Nota técnica de cálculo do (ENEM)	187

A.2	Nota técnica de cálculo do Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE 2013)	193
A.3	Nota técnica de cálculo do Conceito Preliminar de Curso (CPC 2013)	204
A.4	Nota técnica de cálculo do Índice Geral de Cursos (IGC 2013)	226

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e Justificativa

Nos últimos anos, a educação brasileira, assim como em outros países, vem passando por um processo de expansão (MARCHELLI, 2007), o que vem forçando a busca por mecanismos que possibilitem aferir, mensurar e intervir sobre a qualidade dos processos educacionais. Essa necessidade surge com o intuito de verificar se os objetivos traçados *a priori*, estão sendo alcançados. Dessa forma, existe uma urgência em proporcionar um olhar mais crítico sobre a formação dada aos profissionais que devem suprir as carências da sociedade nas mais diversas áreas de atuação

Dentre as várias formações de graduação, destacamo-se as relacionadas à área tecnológica de uma forma geral, e às engenharias, de forma específica. Este destaque é devido ao papel de relevância desta área no mundo, já que o impacto das realizações da ciência e tecnologia são sentidos por toda a sociedade, gerando grande repercussão nos mais diversos campos de atividade humana (BAZZO, 2011).

Neste contexto, a avaliação educacional, como instrumento de diagnóstico e consequente ponto de partida para as possíveis intervenções, é importante para a compreensão da realidade. Este fato tem contribuído para o crescimento do uso da avaliação em todas as áreas do conhecimento (SASS; MINHOTO, 2010) (ANDRIOLA; MCDONALD, 2003). Os processos e métodos avaliativos vêm ocupando cada vez mais destaque social, por fornecerem elementos para o conhecimento e reflexão a respeito das mais variadas atividades desenvolvidas no meio social.

Geralmente, a avaliação tem o intuito de fornecer subsídios para a melhoria dos componentes de aulas, projetos, programas, instituições (TYLER, 1942) (TYLER, 1993) e até mesmo dar conta de questões mais complexas, como por exemplo os sistemas educacionais. Assim, pode-se perceber que a avaliação é um assunto que merece destaque, daí o número crescente de trabalhos produzidos na área, tanto no âmbito acadêmico como por parte das organizações civis, sejam elas vinculadas ou não às várias esferas governamentais.

Em paralelo, sabe-se que o controle avaliativo não deve analisar somente o desenvolvimento

de ações didático-pedagógicas como também os modelos de gestão educacional, que devem dar conta dos processos de formação, verificando desde os aspectos mais fundamentais até os mais complexos. Logo, as formas de atuação docente, bem como as de cunho administrativo, devem usufruir das ações avaliativas, e assim proporcionar um redesenho de ideias, critérios e técnicas. Sendo assim, essas ações visam promover mudanças, que possam caracterizar uma nova forma de conduzir à qualidade educacional, desejada em todos os níveis da educação (VIANNA, 2000).

Com base neste contexto, verifica-se a necessidade de avaliar as competências acadêmicas e gerenciais das coordenações dos cursos em tecnologia e engenharia no Brasil, pois estas coordenações são as responsáveis mais próximas pela gestão da formação de nível superior, dentro das Instituições de Ensino Superior (IES). Sob a ótica do planejamento sistêmico, a administração acadêmica deve efetuar correto direcionamento das questões referentes ao ensino ministrado aos estudantes, e a sua conseqüente formação para o mercado de trabalho (UNESCO, 1998). Soma-se a isto, o fato do ambiente acadêmico vir assumindo um papel mais amplo do que o de meramente instruir, tornando-se destaque também no que diz respeito ao gerenciamento dos processos de desenvolvimento em várias áreas da sociedade (VANGHESE, 2007).

Partindo do pressuposto de que a busca por fatos e dados e sua conseqüente organização, de modo a fornecer informações sobre os processos educacionais, pode proporcionar resultados positivos à gestão do ensino superior, é importante realizar o processamento destas informações para fins de avaliação daqueles processos. Isso pode fornecer embasamento para o conhecimento das necessidades do objeto em estudo e, nesse caso, à gestão do ensino superior e, dessa forma, à conseqüente busca por instrumentos que contribuam para a melhoria da qualidade ensino superior (OWLIA; ASPINWALL, 1996) (LAGROSEN; SEYYED-HASHEMI; LEITNER, 2004). Essa visão vem ganhando destaque, tanto no que diz respeito aos aspectos de cunho qualitativo como também quantitativo.

Vale ressaltar que a gestão educacional vem sendo historicamente tratada de forma mais subjetiva, priorizando seus aspectos qualitativos. Todavia, este estudo busca contribuir para a análise do contexto educacional sob o viés quantitativo, sintonizado com o que vem ocorrendo com o desenvolvimento da Educametria (ou *Educametrics* em inglês) (SILVA *et al.*, 2012) (VASCONCELOS *et al.*, 2013) (NUNES *et al.*, 2013) (NUNES *et al.*, 2015) (NUNES *et al.*, 2014).

Esta pesquisa possui caráter híbrido, buscando uma interface entre métodos tipicamente de engenharia, sobretudo no que diz respeito à aplicação de ferramentas matemáticas para análise (Métodos Matriciais e Tensoriais), e a aplicação na avaliação institucional. Dessa forma, visa contribuir para a melhoria dos processos de gestão educacional. Assim, espera-se melhorar o desempenho desses processos, por intermédio de atividades pertinentes à avaliação

institucional, as quais apresentam características relacionadas com o apoio ao planejamento educacional e à posterior tomada de decisões estratégicas.

Dessa forma, tentou-se identificar, no decorrer do desenvolvimento do trabalho, as potencialidades de aplicação, no contexto da avaliação de cursos de graduação em tecnologia e engenharia, de ferramentas matemáticas e estatísticas de cunho multidimensional e tensorial, tais como: Análise Matricial (AM), Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Tensorial (AT), PARAFAC e Tucker3.

Para tanto, a tese apoiou-se em análise teórica e emprego de métodos computacionais e estatísticos avançados, para averiguar a relação causal proposta entre as variáveis que compõem o objeto. Dessa forma, busca-se reconhecer e isolar padrões de agrupamentos significativos, que possam fornecer informações, que não se encontram explícitas *a priori*. Permitindo, assim, um ponto de vista distinto ao realizado atualmente e, dessa forma, contribuir, sob um novo enfoque, para o processo de avaliação de cursos superiores nas IES, do ponto de vista acadêmico-administrativo.

1.2 Definindo o Tema e o Tipo de Pesquisa

No decorrer do trabalho foram relacionadas as seguintes áreas e temas: Formação em Nível Superior (Avaliação do Ensino Superior; Gestão do Ensino Superior) e Métodos de Análise Matemática (Matricial e Tensorial). Buscou-se obter um modelo de suporte para o sistema de avaliação do ensino superior, para apoiar a tomada de decisões do âmbito da gestão dos cursos com base na análise das visões dos docentes dos cursos que fizeram parte do público alvo.

A proposta desenvolveu-se no âmbito de uma tese de doutorado, no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Teleinformática (PPGETI), em parceria com os Programas de Pós-graduação em Educação (PPGED) e em Políticas Públicas e Gestão da Educação Superior (POLEDUC) da UFC. A pesquisa foi parcialmente financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Projeto 106 Edital 038 2010 Observatório da Educação OBEDUC CAPES) e pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

No decorrer da pesquisa, buscou-se contribuir com a análise de informações obtidas em oito cursos de bacharelado em Engenharia bem como no curso de bacharelado em Sistemas e Mídias Digitais, ofertados pela Universidade Federal do Ceará (UFC), visando fazer inferências sobre a qualidade da gestão e sua atuação na formação ofertada pelos cursos da IES.

1.3 O Contexto e a Relevância do Estudo

O trabalho buscou analisar uma proposta de avaliação dos cursos de graduação, por meio da análise das respostas dadas, pelos professores, a um instrumento que buscava identificar a percepção destes com relação às ações de gestão colocadas em prática pelas Coordenações dos Cursos. Tendo como *locus* da pesquisa alguns cursos de Engenharia do Centro de Tecnologia (CT) e do Centro de Ciências Agrárias (CCA) e de Sistemas e Mídias Digitais do Instituto UFC Virtual (IUV), da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Buscou-se, dessa forma, investigar as possíveis relações existentes entre as atividades de gestão do ensino superior e o seu reflexo nos resultados dos indicadores de qualidade e de desempenho externos. O desenvolvimento deste instrumento de avaliação procurou proporcionar a análise das competências da gestão acadêmica no contexto dos cursos analisados. Dessa forma, analisa-se a aplicabilidade dos métodos para a obtenção de indicadores educacionais, referentes à gestão de cursos e a formação de profissionais de engenharia, no âmbito das IES.

A identificação das práticas de gestão e suas conseqüentes contribuições aos indicadores de qualidade, sobretudo nos índices externos, pode ser muito importante na postura a ser tomada frente aos processos de avaliação externos, entre eles: Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE); Conceito Preliminar de Curso (CPC); Índice Geral de Cursos (IGC). Assim, são analisadas a repercussão das ações de intervenção, da(s) gestão(ões) dos cursos de formação acadêmica, e o seu conseqüente reflexo no desempenho alcançado nas avaliações externas realizadas, com o intuito de identificar fatores que possam ser mensurados (variáveis a serem consideradas) (ANDRIOLA, 2009a).

Faz-se necessário que se diga, que a validação do instrumento de avaliação de análise das competências de gestão acadêmica no nível superior, foi feita partindo da visão dos docentes em atuação nos cursos, que responderam a uma enquete (instrumento), formada por um conjunto de assertivas ($A_i, i = 1, 2, \dots, 14, 15$) desenvolvida com o objetivo de captar a visão professores a respeito dos processos e ações de gestão no ensino superior, postas em prática pelas coordenações de curso. Assim, buscou-se investigar a aplicabilidade dos métodos de análise multivariada e tensorial, para a obtenção de indicadores educacionais referentes à gestão e formação profissional em Engenharia, Sistemas e Mídias Digitais e áreas afins, isto no âmbito da UFC.

No contexto em que estamos, a pesquisa torna-se importante, já que se busca identificar fatores que possam contribuir com a formação de profissionais com qualidade, no nível superior. Isto pode ajudar no combate a um problema que chega a ser recorrente no Brasil: as altas taxas de evasão e reprovação que são apresentadas nos cursos superiores (SCHUWARTZMAN, 1992) (ROMPELMAN, 1999) (HOFFMAN; MAYAS; KROMKER, 2011) (SILVA FILHO *et*

al., 2007), sobretudo na área em estudo. Assim, cre-se que a avaliação educacional torna-se preponderante para a compreensão desses fenômenos e suas possíveis soluções.

A escolha das ferramentas matemáticas citadas se deu pelo fato de sua ampla e consolidada utilização em diversas áreas e contextos como: PSICOMETRIA, QUIMIOMETRIA, ECONOMETRIA, e outros, bem como em muitos campos da própria engenharia (REYES; GARCÍA; MUE, 2014) (DIAZ *et al.*, 2013) (BERRENDERO; JUSTELA; SVARC., 2011) (CHAEA; WARDEB, 2006). O uso dessas técnicas é bastante difundido na psicometria para a validação de instrumentos de avaliação, sendo utilizada até hoje para esse fim (PASQUALI, 2012) (HORNQUIST; HERTZ; WAHDE, 2002).

Os métodos têm algumas características associadas à estrutura dos sistemas ou processos e podem ser utilizados, dentre outras formas, para: reduzir o posto (*rank*) de uma matriz evitando redundâncias de informações com projeções desprezíveis; selecionar os fatores mais importantes de uma base de dados; reconhecer padrões; identificar *outliers*; e descorrelacionar as variáveis analisadas, minimizando as redundâncias de informação da base de dados, isto conforme a característica de cada método.

1.4 Objetivos e Problema do Estudo

1.4.1 Objetivo Geral

Investigar o uso de Análise Matricial e Tensorial, como apoio à tomada de decisões, por parte da Gestão de Cursos de Nível Superior, visando a melhoria da formação de profissionais na área Tecnológica e de Engenharia no âmbito da Universidade Federal do Ceará (UFC).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Elaborar, aplicar e validar um instrumento de avaliação que vise contribuir com a melhoria da qualidade da gestão acadêmica em cursos de Engenharia e Tecnologia no Brasil;
- Utilizar métodos matemáticos tradicionais na Engenharia e em outras áreas, aplicando-os à fenômenos educacionais, visando a inserção de novas possibilidades de síntese e análise.
- Averiguar a aplicabilidade de ferramentas de análise matricial e tensorial em avaliação educacional, especialmente no que diz respeito à avaliação institucional;
- Definir relações de correspondência entre uma consulta do usuário (Professores) e a identificação de informações sobre a gestão acadêmica, com uma abordagem que envolva métodos de análise matemática.

1.5 Estrutura da Tese

- No Capítulo 1 são apresentadas as considerações iniciais sobre o trabalho, o que se denomina Introdução e as subdivisões que dão suporte à pesquisa: justificava; importância do estudo; objetivos; problema; temática e outros;
- No Capítulo 2 são desenvolvidas ideias a respeito da avaliação, em suas várias manifestações, e a Formação de Nível Superior e suas conseqüentes contribuições no campo da Tecnologia, sobretudo no que diz respeito aos cursos de Engenharia e de Sistemas e Mídias Digitais, no âmbito da UFC;
- O Capítulo 3 apresenta as bases teóricas das ferramentas e métodos matemáticos utilizados no decorrer do trabalho;
- No Capítulo 4 apresentam-se os procedimentos metodológicos colocados em prática, detalhando: o contexto, a amostra, o instrumento de pesquisa, bem como a coleta e tratamento dos dados;
- O Capítulo 5 discorre sobre a análise e interpretação dos dados, segundo a aplicação das diversas ferramentas utilizadas;
- No Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões e as perspectivas que o estudo aponta.

1.6 Produção Intelectual associada à Tese

Esta Tese gerou os seguintes artigos (ver Apêndice D):

- Analyzing the quality of the engineering course's management using information processing based on multivariate statistics: A case study under the professors' perspectives (Artigo Publicado em Anais de Congresso — *Frontiers in Education (FIE)* Oklahoma USA 2013). IEEE Education Society;
- Developing an Instrument for Assessment of Academic Management in Engineering Courses (Artigo Publicado na Revista *IEEE Latin America Transactions* — V. 13, No. 1) Published by IEEE Region 9. Qualis B2 Engenharias IV;
- Principal Components Analysis for Instrument Validation: Assessing Academic Management in Systems & Digital Media and Engineering Courses (Artigo Submetido à Revista *Ingeniería e Investigación* da Facultad de Ingeniería Universidad de Colombia).

Published by Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Qualis B2 Engenharias IV;

- Análise do Desempenho Discente em um Ambiente Virtual de Aprendizagem Através de Decomposições Tensoriais Multilineares. (*Wavalia*, Aracaju, 2011). Sociedade Brasileira de Computação.
- Análise de Componentes Principais Aplicada a Avaliação Discente: Um estudo de Caso em Ambientes Virtuais de Aprendizagem. (*Computer on the Beach*, Florianópolis, 2012.). Sociedade Brasileira de Computação.

2 AVALIAÇÃO NA EDUCAÇÃO SUPERIOR: CONTRIBUIÇÕES PARA A FORMAÇÃO EM ENGENHARIA E ALGUMAS CARREIRAS DA ÁREA TECNOLÓGICA

No Brasil, vive-se um processo de crescimento da participação social e consequente busca pelo conhecimento nos mais diversos campos. Um dos instrumentos para o alcance da maturidade social é a Educação. Nesse campo, deve-se fazer um destaque à Educação em Nível Superior, que vem apresentando uma expansão bastante considerável (SCHUWARTZMAN, 1992) (SILVA FILHO *et al.*, 2007) (MARCHELLI, 2007), levando à necessidade de verificar se esta ampliação está se dando com qualidade e alcançando os objetivos pretendidos.

De fato a verificação é necessária por meio de avaliações de sistemas educacionais, que visam fornecer

"informações que podem ajudar a explicitar os fatores que determinam os resultados obtidos, uma espécie de diagnóstico e, assim, auxiliam na elaboração e orientação de novas políticas para o setor (GOMES NETO e ROSENBERG 1995; MALUF 1996; Fontanive e KLEIN 1998; CASTRO, PESTANA e IRIARTE 1995)."(SASS; MINHOTO, 2010)

Dessa forma, as avaliações podem proporcionar vários tipos de informação, e assim, ganham destaque por serem ferramentas relevantes quando se deseja fazer uma reflexão a respeito do estado em que se encontra determinado contexto. O avanço dos métodos de avaliação educacional, como mecanismo de conhecimento da realidade, serve como suporte à melhoria em vários aspectos, no que diz respeito a programas e projetos bem como às instituições (TYLER, 1942) (SCRIVEN; STUFFEBEAN, 1978) (TYLER, 1993)

(ANDRIOLA, 1999) (VIANNA, 2000). (ANDRIOLA, 1999). Ressalta-se que a avaliação é o caminho a ser perseguido para o alcance da qualidade educacional.

A ascendência da avaliação se apresenta nos mais variados setores da nossa sociedade, sobretudo no âmbito da Educação Superior. Neste sentido, (ANDRIOLA, 2009b) (ANDRIOLA, 2008) realça a importância que o estado brasileiro deu às avaliações, propondo sistemáticas para avaliar os cursos de pós-graduação (Sistema da CAPES) e de graduação (ENC, ENADE), e demais das IES (PARU, PAIUB, SINAES). Partindo desses pressupostos, pode-se inferir que as ações docentes devem fazer uso desses instrumentos (ANDRIOLA *et al.*, 2012), na busca de redesenhar ideias, critérios e técnicas, visando promover mudanças que caracterizem melhorias significativas nos diversos setores da instituição, inclusive sobre a formação discente, a partir, por exemplo, do estudo de seus egressos (ANDRIOLA, 2006).

Dentre essas ações, podemos citar os processos de gestão do ensino e da formação de profissionais de nível superior, como potenciais beneficiários desses conhecimentos. Isto faz com que a avaliação deixe de ser vista apenas como instrumento de análise de pequenos contextos (microavaliação), passando a dar conta também de contextos mais amplos e complexos (macroavaliação) (VIANNA, 2000). Frente ao exposto, busca-se apresentar uma proposta de avaliação dos cursos de graduação na UFC, numa perspectiva de investigação baseada na visão dos docentes sobre os processos de gestão da formação no âmbito dos cursos em que atuam.

Crê-se que o conhecimento crítico da realidade, apoiado no uso de ferramentas de análise matemática, possa contribuir de forma positiva nos processos inerentes à formação na área de tecnologia e engenharia. Desta forma é visa-se a melhoria dos cursos de graduação na UFC com a possibilidade real de aplicação em outros contextos. Portanto, para que possamos aplicar de forma correta, faz-se necessário discutir a avaliação, em seus vários aspectos, conforme fazemos a seguir.

2.1 Avaliação: Conceitos e Teorias

Segundo Stake "o homem observa; o homem julga, isto é avaliar"*apud* (VIANNA, 2000). O autor traz a ideia de que o ato de avaliar surgiu junto à capacidade de pensar do homem e desde então vem passando por transformações. Estas transformações tornaram essa atividade cada vez mais complexa à medida que se vai fundamentando no "pensamento descritivo, analítico e crítico."(VIANNA, 2000), fazendo com que ocorra uma ampliação do enfoque dado aos processos avaliativos.

Mesmo com a evolução do pensamento a respeito da avaliação, ainda há traços de pensamentos não desejáveis, como por exemplo o equívoco de tratar a avaliação e a mensuração

como sinônimos. Quando olhamos sob o ponto de vista da origem histórica, a avaliação é confundida inicialmente com medida já que surgiu "como uma disciplina psicométrica, ou mais exatamente docimológica"(VIANNA, 2000). Este pensamento certamente contribuiu para que, ainda hoje, a mensuração, quantificação de um atributo seja visto como avaliação.

Contudo, deve-se ter bem claro que a medida pode até se configurar como etapa inicial de uma avaliação, mas não deve ser considerada uma condição essencial para sua existência, pois esta apenas se concretiza quando ocorre um julgamento de valor, na visão de Scriven (1967), ao analisar os desdobramentos metodológicos da avaliação (VIANNA, 2000). Assim,

"Seguindo a lógica de Scriven, a avaliação está ligada à determinação do valor de alguma coisa para uma certa destinação; desta forma, para avaliar cumpre determinar um universo de informações que permita ajuizar uma manifestação de valor em relação ao que pode ser um programa, produto, um material e não exclusivamente o rendimento escolar (Worthen e Sanders, 1973)"*apud* (VIANNA, 2000).

A avaliação, da forma como vem sendo discutida, desde o início do texto, ganha relevância, em parte, pela visão que esta pode proporcionar no conhecimento das realidades sociais (VIANNA, 2000). Esta ideia ganha forma, caso visualizemos a educação como um serviço público, passível de reclamação conforme garante a constituição de 1988 alínea a. do parágrafo 3o. do inciso XXII do Art. 37 (BRASIL, 1988).

Frente a estas questões a avaliação

"... vai dando conta de que percepções e instituições podem conduzir à geração de conhecimentos; entretanto, simultaneamente, a avaliação procura sistematizar suas atividades, na medida do possível, para, aos poucos, criar uma estrutura que permita a congruência das intencionalidades em educação (Tyler, Stake), apresentando juízos de valor (Scriven) e tomar decisões face às alternativas que nos são oferecidas (Stufflebeam) ..." (VIANNA, 2000)).

Então pode-se usar a avaliação com a intenção de fundamentar as possíveis intervenções e desta forma, torná-las mais efetivas. Isto faz com que a avaliação, em seus vários aspectos, venha sendo usada como mecanismo de reflexão das diversas dimensões e possíveis variáveis que compõem as diferentes esferas e estágios dos processos institucionais em especial as educacionais.

Na área educacional, estamos mais habituados a avaliar o desempenho dos alunos e dos programas, mas pode-se também analisar projetos, instituições, produtos, serviços e outros. Dessa forma, segundo (CALDEIRA, 2004), "A avaliação é parte intrínseca do processo de

aprendizagem, e está ligada ao contexto, assim como os professores e alunos". O autor ainda nos afirma que "a ação de avaliar não é externa ao processo pedagógico"(CALDEIRA, 2004), podendo ainda ser mais impactante por estar intrínseca aos processos e assim fornecer informações em tempo real.

No contexto da Educação Superior, assim como nos demais níveis educacionais, deve-se buscar mecanismos que possibilitem sua avaliação, isto no sentido de verificar se os objetivos traçados estão sendo alcançados, sobretudo na perspectiva de proporcionar um olhar mais crítico sobre a qualidade da formação dos futuros profissionais que a instituição é responsável por oferecer à sociedade nos mais diversos campos.

Assim, a avaliação apresenta-se bem mais abrangente do que simplesmente como um instrumento de verificação de itens relacionados ao ensino-aprendizagem, podendo, dessa forma, ser usada para avaliar outros aspectos dos processos referentes ao ES, tais como:

"missão; plano de desenvolvimento institucional; políticas de ensino, pesquisa, e extensão; responsabilidade social; comunicação da instituição com a sociedade; políticas de gestão de pessoas; infra-estrutura física e pedagógica."(ALBUQUERQUE; LIMA, 2008).

Busca-se assim, no decorrer do trabalho, desenvolver um processo de avaliação do tipo *formativa* que segundo Scriven *apud* (VIANNA, 2000) "deve ocorrer ao longo do desenvolvimento de programa, projetos e produtos educacionais, com vistas a proporcionar informações úteis para que os responsáveis possam promover o aprimoramento do que está sendo objeto de implementação". (VIANNA, 2000)

Dessa forma, as ações docentes, nas várias esferas inclusive as gerenciais como é o caso, devem posicionar-se com o intuito de construir algo novo e também melhor, na perspectiva de redesenhar ideias, critérios e técnicas, com o intuito de promover mudanças, num processo formativo, que caracterize uma nova forma de ver a educação e os processos como meio para um ensino-aprendizagem e uma conseqüente formação de qualidade dos profissionais para o mercado de trabalho.

Espera-se que esse tipo de ação possa oportunizar a adoção de estratégias avaliativas que visem a redução das taxas de abandono e insucesso, proporcionando uma melhoria nos indicadores acadêmicos dos alunos de graduação. Assim, vamos investiga-se o uso de ferramentas e modelos matemáticos que possam fornecer uma ligação entre os elementos qualitativos e quantitativos relacionados à avaliação e conseqüente análise do objeto em estudo.

De uma forma geral, a avaliação pode ser vista, em seu plano teórico pelo menos, como sendo um instrumento que "visa a tomada de decisões, ou seja, é um processo de identificar e coletar informações que permitam decidir entre várias alternativas. (Stufflebeam *et al*)

apud (VIANNA, 2000). Vale ressaltar ainda algo que não está explícito no pensamento do autor, exposto anteriormente, o juízo de valor, pois para que se opte por uma decisão ou alternativa, faz-se necessário que haja uma fundamentação dos argumentos para a escolha, esta fundamentação podem vir até da experiência do avaliador.

Frente ao exposto, busca-se por meio deste, desenvolver uma proposta de avaliação qualitativa e quantitativa dos procedimentos gerenciais dos cursos de graduação em Engenharia, em Sistemas e Mídias Digitais e em áreas afins na UFC. Isto buscando fornecer uma fundamentação teórico-metodológica e, dessa forma, contribuir para a melhoria da qualidade dos cursos (GOMEZ *et al.*, 2014) e da qualidade dos profissionais formados, baseado no fomento à tomada de decisão no campo do gerenciamento do Ensino Superior (ES)(BOGOYA; BOGOYA, 2013).

Sob uma nova perspectiva, a gestão acadêmica de cursos de nível superior tem papel fundamental para o direcionamento correto da relação ensino-aprendizagem e da formação dos estudantes, com base nas políticas públicas vigentes (UFC, 1982). Cabe à gestão dos cursos: regular, direcionar, apoiar e orientar os alunos ao longo de sua formação universitária nos limites de seus aspectos acadêmicos e administrativos (LAGUADOR, 2013). Contudo, para que seja possível uma gestão mais eficiente deve-se implementar uma avaliação no âmbito do ES, considerando que esses processos avaliativos possuam uma base legal e documentos que regulamentem sua aplicação. Esta fundamentação existe de forma sólida e será vista na sessão seguinte.

2.1.1 Legislação da Avaliação do Ensino Superior

Quando nos dispomos a analisar a fundamentação legal e a regulação referente ao ES e seus respectivos processos de avaliação, nos deparamos com uma gama de documentos, que vão desde a Constituição Nacional promulgada em 1988 (BRASIL, 1988) até vários decretos regulamentares, passando pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996) e o Plano Nacional de Educação (PNE) (BRASIL, 2014). Os referidos documentos vêm conferindo um crescente grau de importância aos processos avaliativos e o seu papel para melhoria da qualidade da educação (BRASIL MEC, 2003). A seguir apresentamos algumas considerações a respeito da base legal referente a avaliação junto ao ES.

A Educação, de uma forma geral, é reconhecida como um direito social de todo cidadão brasileiro, isto conforme o Artigo 6^o. da Constituição Nacional, em seu capítulo específico sobre educação e outros temas, como pode ser visto no Art. 205 "A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho"(BRASIL, 1988).

Dessa forma, em um sentido amplo, toda a legislação sobre educação e conseqüentemente da avaliação em seus vários níveis, incluindo o Ensino Superior vigente, em nosso país, deriva dos preceitos estabelecidos nesta Constituição e os documentos dela originados. Assim, dentre as atribuições da união, preconizadas por esta carta constitucional, há a obrigatoriedade de legislar e assim estabelecer as diretrizes e bases da educação nacional (Art. 22, inciso XXIV), inclusive envolvendo os vários aspectos relacionados à educação, entre eles a avaliação do ES.

Ainda sobre as atribuições das instituições quanto ao seu papel no processo avaliativo, a lei que regulamenta o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES) (BRASIL, 1995), que trata de regulamentação de dispositivo da antiga LDB (BRASIL, 1961), propõe pela primeira vez que o Ministério da Educação (MEC) deve ter entre suas atribuições a de *formular e avaliar a política nacional de educação, zelar pela qualidade do ensino e velar pelo cumprimento das leis que regem* (BRASIL, 1996).

Para cumprir esse dever, a lei ainda determina que o MEC deve contar com a colaboração do Conselho Nacional de Educação (CNE), formado por duas Câmaras, a de Educação Básica (CEB) e a de Educação Superior (CES). A esta última cabem algumas atribuições, segundo o §2º. Art. 9º da Lei 9131/95, das quais destaca-se a seguir aquelas referentes aos processos de avaliação:

- "a) analisar e emitir parecer sobre os resultados dos processos de avaliação da educação superior;
- d) deliberar sobre os relatórios encaminhados pelo Ministério da Educação e do Desporto sobre o reconhecimento de cursos e habilitações oferecidos por instituições de ensino superior, assim como sobre autorização prévia daqueles oferecidos por instituições não universitárias;
- e) deliberar sobre a autorização, o credenciamento e o recredenciamento periódico de instituições de educação superior, inclusive de universidades, com base em relatórios e avaliações apresentados pelo Ministério da Educação e do Desporto;
- g) deliberar sobre os relatórios para reconhecimento periódico de cursos de mestrado e doutorado, elaborados pelo Ministério da Educação e do Desporto, com base na avaliação dos cursos."

(BRASIL, 1995)

Esta lei ainda prevê a criação de uma série de avaliações de frequência periódica nas instituições e cursos de nível superior, tendo como parâmetro o estabelecimento de uma série de conteúdos mínimos a serem vistos, sendo que estes devem ser estabelecidos *a priori* (BRASIL MEC, 2003), tendo como base o perfil de profissional desejado. Assim, o estudo reforça um

papel preconizado pela legislação, quando se diz que os conhecimentos ditos mínimos serão avaliados por exames que buscarão verificar a aquisição de conhecimentos e competências adquiridas pelos formandos, quando do término de seu ciclo de formação. Vale ressaltar que existe uma necessidade de divulgação dos resultados, coletados e analisados de forma anual pelo MEC.

Ainda no que diz respeito a avaliação, cabe ressaltar ainda, mesmo não sendo o foco do trabalho, que a lei diz que essas avaliações também servirão de subsídio para o direcionamento da qualificação dos professores que dão suporte à formação em nível superior. Tendo como certeza que a qualidade do docente influencia positivamente para uma formação profissional significativa e de qualidade.

A LDB 9394/96 foi um marco para a consolidação da necessidade de aperfeiçoar os processos avaliativos no âmbito do ES, tornando-os essenciais, tanto no que diz respeito à orientação das diretrizes e políticas que visam a melhoria do ensino, quanto na definição de ações nos processos de validação dos sistemas de ensino.

De forma mais específica sobre a avaliação e a acreditação, a LDB traz, em seu artigo de número 9º, os incisos V e VI que dizem respectivamente:

V coletar, analisar e disseminar informações sobre a educação;

VI assegurar processo nacional de avaliação do rendimento escolar no ensino fundamental, médio e superior, em colaboração com os sistemas de ensino, objetivando a definição de prioridades e a melhoria da qualidade do ensino;
(BRASIL, 1996)

E ainda de forma mais explícita sobre o ES, no inciso VIII, onde diz que se deve:

VIII assegurar processo nacional de avaliação das instituições de educação superior, com a cooperação dos sistemas que tiverem responsabilidade sobre este nível de ensino. (BRASIL, 1996)

É também colocado claramente que os demais entes federados devem tomar parte nos processos de avaliação, visando a regulação neste nível. Contudo, cabe ao governo, na esfera federal "*autorizar, reconhecer, credenciar, supervisionar e avaliar, respectivamente, os cursos das instituições de educação superior e os estabelecimentos do seu sistema de ensino*" (Art. 9º, inciso IX). A definição de papéis permite, inclusive, a descentralização, já que à União é permitido delegar estas atribuições aos Estados, desde que possua as condições de ofertar o ES.

Na estrutura governamental, o órgão encarregado de executar as avaliações, segundo o Decreto 2.146/97, é o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). Este decreto diz que o INEP possui as seguintes atribuições:

- Organizar e manter o sistema de informações e estatísticas educacionais.
- Planejar, orientar e coordenar o desenvolvimento de sistemas e projetos de avaliação educacional, visando o estabelecimento de indicadores de desempenho das atividades de ensino no país.
- Apoiar os Estados, o Distrito Federal e os Municípios no desenvolvimento de sistemas e projetos de avaliação educacional.
- Desenvolver e implementar, na área educacional, sistemas de informação e documentação que abranjam estatísticas, avaliações educacionais, práticas pedagógicas e de gestão das políticas educacionais.
- Subsidiar a formulação de políticas na área de educação, mediante a elaboração de diagnósticos e recomendações decorrentes da avaliação da educação básica e superior.
- Coordenar o processo de avaliação dos cursos de graduação, em conformidade com a legislação vigente.
- Definir e propor parâmetros, critérios e mecanismos para a realização de exames de acesso ao ensino superior.
- Promover a disseminação de informações sobre avaliação da educação básica e superior.
- Articular-se, em sua área de atuação, com instituições nacionais, estrangeiras e internacionais, mediante ações de cooperação institucional, técnica e financeira, bilateral e multilateral. (HORTA NETO, 2007)

Os processos de avaliação exercidos por organismos externos à IES possuem prazos limitados (Art. 46, LDB 9394/96). Isto possibilita, caso se constatem deficiências, que sejam realizadas ações para resolver tais problemas, e só depois é feita a reavaliação da instituição ou curso. Existe uma preocupação em agilizar esses processos, segundo pode ser visto na estratégia 12.19 da Meta 12 do PNE, qual seja:

(elevar a taxa bruta de matrícula na educação superior para 50% (cinquenta por cento) e a taxa líquida para 33% (trinta e três por cento) da população de 18 (dezoito) a 24 (vinte e quatro) anos, assegurada a qualidade da oferta e expansão para, pelo menos, 40% (quarenta por cento) das novas matrículas, no segmento público)(BRASIL, 2014).

Esta estratégia afirma que:

reestruturar com ênfase na melhoria de prazos e qualidade da decisão, no prazo de 2 (dois) anos, os procedimentos adotados na área de avaliação, regulação e supervisão, em relação aos processos de autorização de cursos e instituições, de reconhecimento ou renovação de reconhecimento de cursos superiores e de credenciamento ou recredenciamento de instituições, no âmbito do sistema federal de ensino; (BRASIL, 2014).

As avaliações são estimuladas, tanto as externas como as internas pela meta 13 "(elevar a qualidade da educação superior e ampliar a proporção de mestres e doutores do corpo docente em efetivo exercício no conjunto do sistema de educação superior para 75% (setenta e cinco por cento), sendo, do total, no mínimo, 35% (trinta e cinco por cento) doutores."(BRASIL, 2014), e por algumas das estratégias relacionadas abaixo:

- 13.1 aperfeiçoar o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior - SINAES, de que trata a Lei no 10.861, de 14 de abril de 2004, fortalecendo as ações de avaliação, regulação e supervisão;
- 13.2) ampliar a cobertura do Exame Nacional de Desempenho de Estudantes - ENADE, de modo a ampliar o quantitativo de estudantes e de áreas avaliadas no que diz respeito à aprendizagem resultante da graduação;
- 13.3) induzir o processo contínuo de autoavaliação das instituições de educação superior, fortalecendo a participação das comissões próprias de avaliação, bem como a aplicação de instrumentos de avaliação que orientem as dimensões a serem fortalecidas, destacando-se a qualificação e a dedicação do corpo docente; (BRASIL, 2014)

A exposição feita nesse tópico buscou apresentar a base legal da avaliação. Foi destacado que esta se encontra consolidada e em processo de uso e aperfeiçoamento, regulamentando a realização dos processos avaliativos nas instituições, sejam internos ou externos. Contudo, neste trabalho, se deseja contribuir para esta discussão, sob o ponto de vista da avaliação educacional no âmbito das instituições, segundo a visão daquelas pessoas que as compõem, isto é, os seus professores, os quais são responsáveis pela condução da formação dos profissionais, bem como as coordenações de curso. Para que o diálogo torne-se mais fundamentado discorre-se, a seguir, sobre aspectos inerentes à Avaliação Institucional.

2.1.2 Avaliação Institucional e Indicadores Externos

Avaliação Institucional

As reformas educacionais, em todos os níveis, que vêm ocorrendo no Brasil desde a década dos anos 1990, avançam no sentido de aperfeiçoar a gestão e o monitoramento dos sistemas educacionais e as políticas públicas nas várias instâncias governamentais (SASS; MINHOTO, 2010). Dentre os vários instrumentos de monitoramento estamos destacando a avaliação institucional e sua relação com os indicadores. O monitoramento, por parte da União, é justificado pela descentralização político-institucional, com a instituição dos vários sistemas de ensino (SASS; MINHOTO, 2010). Os objetivos explícitos desse processo seriam

"observar como as reformas estavam avançando; analisar acertos e correções das iniciativas; assegurar transparência das informações, com disseminação dos resultados obtidos em levantamentos e avaliações realizados; e visualizar cenários para auxiliar a reformulação de políticas e programas, bem como a formulação de novos (CASTRO 2000)" *apud* (SASS; MINHOTO, 2010)

Partindo da concordância com a visão de Ralph Tyler, para quem a avaliação e as medidas educacionais são processos distintos, (VIANNA, 2000) apresentou em seus trabalhos uma diferenciação entre ambos, nos quais se torna mais claro que as medidas educacionais tem sua importância no processo avaliativo, contudo, não se pode limitar a avaliação a essa esfera. Assim, pode-se aferir que a avaliação passa a abranger programas, currículos e sistemas educacionais, e dessa forma, não se limita à avaliação dos indivíduos, referenciada apenas em critérios de aprendizagem.

O modelo de Tyler é considerado simples por vários estudiosos da avaliação educacional (VIANNA, 2000), pois parte do princípio de que educar consistiria em gerar e/ou mudar padrões de comportamentos identificados. Por consequência, o currículo deveria ser construído com base na especificação de habilidades desejáveis, sendo que essas deveriam ser expressas em forma de objetivos previamente definidos a serem alcançados.

A avaliação, na concepção de Tyler, verificaria a concretização dos objetivos propostos, através da verificação da congruência entre os resultados alcançados e os objetivos ou metas inicialmente propostos pelo programa do curso (VIANNA, 2000). Percebe-se de maneira acentuada no seu modelo a importância dos objetivos no processo avaliativo, e que tais objetivos norteiam e direcionam a avaliação, a partir da realidade e do contexto, ou seja, considerando a função institucional, característica que se pretende aprofundar no decorrer deste trabalho.

Considerando que a avaliação, no âmbito das instituições, não deve ser vista

... como um fim em si, mas como parte de um conjunto de políticas públicas,

no campo da educação superior, voltadas para a expansão do sistema pela democratização do acesso, para que a qualificação do mesmo faça parte de um processo mais amplo ... (BRASIL MEC, 2003)

Destaca-se que a avaliação faz parte de um processo de revalorização da educação superior, considerando esta como fator estratégico para o desenvolvimento do país.

Assim a Avaliação Institucional ganha força, já que deve ser vista como

forma de estabelecer metas, corrigir rumos, elevar a qualidade das diversas atividades desenvolvidas, em suma, de dar diretrizes sobre as melhorias necessárias para a oferta de formação em nível superior em patamares cada vez mais altos de qualidade. (BRASIL MEC, 2003)

Isto na perspectiva de busca por aspectos positivos que devem ser reforçados, como:

- a) compatibilização com o sistema de avaliação de cursos por dimensões, categorias de análise e indicadores;
- b) elaboração da dimensão organização institucional;
- c) clareza; e
- d) transparência. (BRASIL MEC, 2003)

Quanto aos aspectos citados, destaca-se que todo processo de avaliação que busque dar conta das demandas sociais, deve apresentar características relacionadas à transparência, porque

"o processo de avaliação externa, por sua vez, deverá conduzir a uma nova síntese que consolida a avaliação institucional a ser publicamente apresentada e discutida, e orientará as tomadas de decisão tanto institucionais como as que cabem à instância estatal, considerando as definições de políticas do ensino superior e de avaliação estabelecidas."(BRASIL MEC, 2003)

Portanto, se espera fornecer um retorno para a sociedade através de um sistema de avaliação, mostrando que a avaliação institucional é elemento fundamental o qual encontra-se incluído na estrutura orgânica do SINAES, como mostra a Figura 2.1.1 (BRASIL MEC, 2003), sendo esta verificada pelo CONAES.

Outro aspecto a ser analisado, está relacionado aos processos avaliativos, no qual se onde deve buscar um maior discernimento quanto aos papéis e objetivos destes. Para tanto, Michael Scriven, que não desenvolveu um modelo de avaliação educacional, mas contribuiu para a compreensão da lógica da avaliação educacional, diz que o "... objetivo consistiria em oferecer

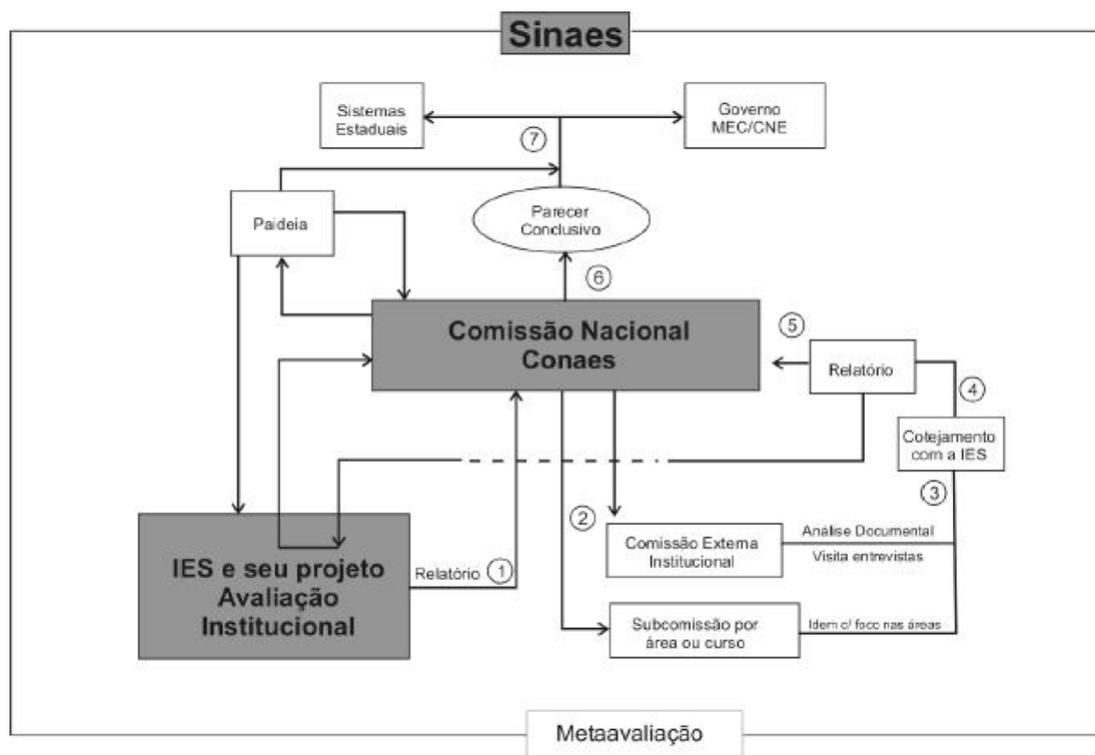


Figura 2.1.1: Fluxograma do Processo de Avaliação Institucional (BRASIL MEC, 2003)

uma resposta satisfatória aos problemas propostos pelas questões a serem avaliadas; os papéis referir-se-iam às maneiras como essas respostas são usadas ..." (VIANNA, 2000).

Deve-se ainda, considerar que Daniel Stufflebeam baseia seu modelo no "... dimensionamento da avaliação com o objetivo de permitir tomada de decisões..." (VIANNA, 2000). Destaca-se que "...O ponto central do modelo de Stufflebeam 1971 é a própria definição que apresentam a avaliação como um processo para descrever, obter e proporcionar informações úteis para julgar decisões alternativas..." (VIANNA, 2000).

Essas ideias deram origem ao modelo CIPP: contexto, insumos (*input*), processo e produto (*output*), onde devemos levar em consideração o caráter analítico e racional que abrange diversos momentos das instituições como: planejamento das decisões; estruturação das decisões; implementação de decisões. Os elementos destacados a seguir, são importantes para a compreensão do modelo CIPP de avaliação, onde se pressupõe que:

- A avaliação é um processo sistemático e contínuo;
- o processo de avaliação pressupõe três momentos da maior importância: esboço, obter informações que sejam relevantes para responder as questões propostas e proporcionar aos responsáveis pela tomada de decisões todas as informações necessárias.
- a avaliação serve para a tomada de decisões.

Ainda segundo (VIANNA, 2000),

"O modelo CIPP gira em torno da tomada de decisões e procura desse modo, estabelecer quatro tipos de situações de decisão em educação, distinguindo-os dos quatro tipos de decisões, além dos quatro tipos de avaliações: contexto, insumo, processo e produto"(VIANNA, 2000).

Não há a pretensão de aplicar o modelo CIPP na íntegra, mas nos inspiraremos em algumas ideias, principalmente no que diz respeito à consideração do contexto, bem como o papel da avaliação enquanto subsídio para tomada de decisão, já que este motivo vem se tornar essencial no âmbito das instituições, para os cursos de graduação. Portanto, deve-se considerar que os cursos acontecem dentro de um contexto social maior. Este contexto envolve um grande número de outros cursos, de alunos, de professores, demais profissionais e a população em geral. Devido a sua abrangência, possui influência na definição do papel social e conseqüentemente o papel a ser assumido pelos cursos de formação profissional, tendo em vista a inserção na sociedade.

Este pensamento exige, por parte das instituições, que se fortaleça o início do processo, a autoavaliação, e posteriormente a avaliação externa, que tem como ponto de partida a avaliação produzida internamente, considerando dados quantitativos e qualitativos e, quando couber, a articulação entre o ensino de graduação e a pós-graduação. (BRASIL MEC, 2003)

Partido dos pressupostos apresentados, acredita-se que a avaliação de cursos superiores na UFC, com base em ferramentas matemáticas mais complexas, pode fornecer subsídios que contribuam para a melhoria e a constante busca pela excelência educacional almejada por essa instituição de ensino, bem como uma melhor prestação de serviço à sociedade. Esta postura pode contribuir para a melhoria da qualidade dos cursos bem como a elevação dos indicadores externos, que iremos discutir a seguir.

Indicadores Externos

Geralmente o controle da qualidade da educação desenvolvida pelas IES é feito por meio de indicadores externos, tais como: ENEM, ENADE, CPC (Conceito Preliminar de Curso), CC (Conceito de Curso). Esses índices de qualidade e avaliação externos muitas vezes podem ser vistos, principalmente pelo público em geral, como meramente números, no sentido estreito da palavra. Esta característica, por vezes, faz uma associação destes índices, por parte da população, a um pensamento de que os mesmos possuem conteúdo indiscutível (SASS; MINHOTO, 2010).

Contudo, estes indicadores possuem um objetivo muito claro: trazer informações importantes a respeito de fenômenos, situações, instituições, etc. Estes devem ser utilizados pelas instituições como parâmetros para mudanças acadêmico-administrativas, para melhoria do serviço prestado à comunidade. Temos que ter bem claro que a quantificação dos atributos

verificados não é feita de forma aleatória, pois seguem regras pré-definidas, conforme a metodologia a ser colocada em prática.

Muitas vezes os indicadores, são vistos como algo frio, sem significado qualitativo, por serem apresentados de forma numérica, mas esses números ganham maior significância a partir do momento que vêm acompanhados de informações a respeito dos métodos e objetivos do estudo e às suas respectivas análises feitas por especialistas na área.

Os indicadores ganharam maior destaque depois que a estatística passou a ser vista como ciência, já que passaram a ter um papel importante, representando o compromisso entre a exatidão científica e a necessidade de informação concisa, simples e sintética (CAVALCANTE, 2011).

Dessa forma, busca-se relacionar os indicadores externos com a avaliação institucional, procurando fazer uso dessa importante ferramenta como apoio ao desenvolvimento de ações e métodos de cunho administrativo que possam influenciar de forma positiva na melhoria da qualidade das diversas atividades desenvolvidas no meio acadêmico, entre as quais destacamos a formação de profissionais.

Contudo, faz-se necessária a distinção do que é um indicador educacional e os critérios utilizados como parâmetro para os processos avaliados. Nesse sentido, o trabalho (SASS; MINHOTO, 2010) afirma

"Um indicador educacional pretende representar determinadas características de uma dada realidade educacional do país, das redes de ensino e das escolas. Já os critérios são utilizados para o julgamento da eficácia do sistema, medida pelo grau de consecução dos objetivos propostos, de sua eficiência aferida pelo nível de utilização de recursos e do impacto de políticas implementadas, verificada pelas mudanças operadas nas condições educacionais da população alvo e determinam parte significativa da concessão de recursos financeiros às escolas."

De outro lado a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico OCDE classifica os indicadores em quatro diferentes grupos((UFC, 2007)):

- Indicadores de contexto, explicam-nos os resultados institucionais obtidos, mediante apresentação das condições de demanda e das características demográficas, socioeconômicas e culturais da população discente atendida;
- Indicadores de recursos, informam-nos sobre os recursos materiais e humanos disponíveis no contexto institucional;
- Indicadores de processos, dão-nos informações acerca da influência exercida sobre a implementação de ações de diversas naturezas;

- Indicadores de produtos, permitem-nos obter informações acerca dos logros institucionais no âmbito do ensino, da investigação e da extensão. (UFC, 2007)

Como vemos, os objetos encaixam-se nas tarefas atribuídas por Stufflebeam à avaliação em seu modelo CIPP (VIANNA, 2000), o que foi utilizado como um dos parâmetros a serem considerados nos decorrer dessa pesquisa. Deve-se ainda destacar que serão considerados, como parâmetros, os indicadores externos oficiais destacados anteriormente na perspectiva de obter informações que possam contribuir para a melhoria da formação de profissionais nesse nível.

Faz-se necessário que se descreva um pouco sobre os indicadores externos, que se encontram em uso, tais como: ENEM, ENADE, CPC, CC.

Exame Nacional do Ensino Médio — ENEM

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), será aqui discutido, pois tem sido um instrumento de avaliação dos alunos que ingressam na Educação Superior, este encontra-se em processo de aperfeiçoamento constante com grande influência nos programas da Educação Básica(SASS; MINHOTO, 2010). O ENEM começou a ser aplicado em 1998, e inicialmente tinha como objetivo a avaliação dos alunos no final da Educação Básica. A sua metodologia, baseada na ênfase da avaliação de competências e habilidades individuais, bem como o uso de "questões baseadas em situações do cotidiano, que se organizam a partir da solução de problemas e que demandam o relacionamento interdisciplinar e contextualizado dos conhecimentos"(SASS; MINHOTO, 2010), colocam esse exame na condição de inovador.

Dessa forma,

"A prova de conhecimentos gerais é valorizada por oferecer um tratamento desafiador aos conteúdos tradicionais das ciências e das artes e por pretender diagnosticar e aferir o desempenho individual pela capacidade de enfrentar *situações-problema* baseadas nas exigências implícitas na sociedade atual. Segundo os elaboradores do exame, esse tratamento provoca nos examinados conflitos cognitivos levando-os a recorrer às competências e habilidades superiores adquiridas ao longo de seu desenvolvimento."(SASS; MINHOTO, 2010)

Estas provas encontram-se fundamentadas em uma matriz de referência específica (Anexo A), que faz parte do Edital que regulamenta o ENEM de 2014 (INEP/MEC, 2014a), composta por 5 competências e 21 habilidades, cada uma delas correspondendo ao domínio de uma estrutura mental, buscando funcionar de forma orgânica e integrada umas as outras. Para maiores informações a Nota Técnica de Cálculo, encontra-se no Anexo A.1 (INEP/MEC, 2011).

Mesmo tendo a prerrogativa da participação voluntária, o número de participantes vem crescendo desde o início. Em 2009, o ENEM passou a ser utilizado como mecanismo de seleção e para o acesso à educação superior, sendo considerado de forma integral ou parcial. Este exame ainda é utilizado como critério para seleção de beneficiários de bolsa do Programa Universidade para Todos (ProUni).

Exame Nacional de Desempenho de Estudantes — ENADE

Dentre as ações de avaliação dos sistemas e níveis educacionais, o ENADE encontra-se em execução desde 2004. Vale destacar que os resultados encontram-se disponíveis para consulta por parte da população em geral. Este exame é um indicador de qualidade, atuando no que diz respeito à avaliação do desempenho dos estudantes nas provas aplicadas nas diversas áreas de formação no nível superior.

A avaliação anterior era o Exame Nacional de Cursos, mais conhecido como Provão. Contudo a Lei 10861/2004 (BRASIL, 2004), regulamentou o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES) e também o Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE), que tem como finalidades, segundo o parágrafo 1º do Art. 1º da Lei,

"... a melhoria da qualidade da educação superior, a orientação da expansão da sua oferta, o aumento permanente da sua eficácia institucional e efetividade acadêmica e social e, especialmente, a promoção do aprofundamento dos compromissos e responsabilidades sociais das instituições de educação superior, por meio da valorização de sua missão pública, da promoção dos valores democráticos, do respeito à diferença e à diversidade, da afirmação da autonomia e da identidade institucional."(BRASIL, 2004)

Ainda segundo a Lei, o ENADE tem como objetivos aferir:

- o desempenho dos estudantes em relação aos conteúdos programáticos previstos nas diretrizes curriculares;
- as habilidades dos estudantes para ajustamento às exigências decorrentes da evolução do conhecimento;
- as competências para compreender temas exteriores ao âmbito específico de sua profissão, ligados à realidade brasileira e mundial e a outras áreas do conhecimento. (SASS; MINHOTO, 2010)

O exame se dá pela aplicação de provas de desempenho com alunos, a cada 3 anos, de acordo com o conjunto de cursos que compõe uma área específica do ENADE da IES no

Município. Para maiores esclarecimentos a nota técnica no anexo A.2 (INEP/MEC, 2014b) pode ser consultada, de acordo com o ano a ser analisado.

Conceito Preliminar de Curso — CPC

Este indicador de qualidade busca avaliar os cursos superiores. Vem sendo aplicado desde 2007, e possui periodicidade de 3 anos de acordo com as áreas. O CPC é sempre avaliado para as mesmas áreas avaliadas pelo ENADE do ano anterior, e apresenta como objetivo

"combinar diferentes medidas de qualidade de cursos de graduação e algumas variáveis de insumo em uma única medida, é constituído de oito componentes, agrupados em três dimensões que se destinam a avaliar a qualidade dos cursos de graduação: a. desempenho dos estudantes; b. corpo docente; e c. condições oferecidas para o desenvolvimento do processo formativo."(INEP/MEC, 2014c)

Entre as condições oferecidas pode-se exemplificar: infraestrutura, recursos didático-pedagógicos e demais insumos. O CPC, assim como o ENADE, também é aplicado em cursos ofertados pelas unidades de cada município, e também tem seu resultado amplamente divulgado. Para que se tenha uma melhor compreensão do procedimento para o cálculo pode-se consultar no anexo A.3(INEP/MEC, 2014c). Desse documento destaca que há uma padronização dos dados originais para que possam assumir os valores em escala uniforme de zero a cinco.

Índice Geral de Cursos — IGC

O IGC é um indicador de qualidade que se dispõe a avaliar, de forma anual, as instituições que ofertam o ensino superior. Assim como o CPC, este também começou a ser medido no ano de 2007. O indicador é composto por:

- a média dos últimos CPC's disponíveis dos cursos avaliados da instituição no ano do cálculo e nos dois anteriores, ponderada pelo número de matrículas em cada um dos cursos computados;
- a média dos conceitos de avaliação dos programas de pós-graduação *stricto sensu* atribuídos pela CAPES na última avaliação trienal disponível, convertida para escala compatível e ponderada pelo número de matrículas em cada um dos programas de pós-graduação correspondentes;
- a distribuição dos estudantes entre os diferentes níveis de ensino, graduação ou pós-graduação *stricto sensu*, excluindo as informações do item II para as instituições que não oferecerem pós-graduação *stricto sensu*.

Para ponderar esses conceitos, utiliza-se a distribuição dos estudantes da IES entre os diferentes níveis de ensino (Graduação, Mestrado e Doutorado) (INEP/MEC, 2014d). Este índice refere-se ao processo avaliativo de um triênio.

O conceito de ciclo avaliativo foi definido no Art. 33. da Portaria Normativa nº 40 de 12 de dezembro de 2007. Ele compreende a realização periódica de avaliação de instituições e cursos superiores, com referência nas avaliações trienais de desempenho de estudantes, as quais subsidiam, respectivamente, os atos de credenciamento e de renovação de reconhecimento.

Assim, o IGC

"... é calculado por IES a partir dos conceitos médios da graduação e da pós-graduação *stricto sensu*, conforme apresentado a seguir. Nas Instituições sem cursos ou programas de pós-graduação *stricto sensu* avaliados pela Capes, o IGC é simplesmente a média ponderada dos cursos de graduação."

Os indicadores discutidos são reconhecidamente indicadores de qualidade que podem vir a ser validados pelos especialistas e pela sociedade. Dessa forma, as informações que estes trazem, podem nos fornecer elementos importantes para a avaliação da gestão do ensino superior. Para maiores informações pode-se consultar nota técnica no anexo (INEP/MEC, 2014d).

Outro aspecto, a ser analisado no decorrer deste texto é o desenvolvimento da formação em Engenharia e Tecnologia no Brasil. A seguir se faz esta fundamentação.

2.2 O Panorama da Formação em Engenharia no Brasil

Neste tópico, discutem-se alguns aspectos sobre a formação em tecnologia no Brasil, principalmente no que diz respeito à engenharia. O tópico foi desenvolvido no sentido de fazer levantamentos históricos, questionamentos quanto as visões de tecnologia bem como os aspectos relacionados aos desafios a serem enfrentados para a formação nesta área.

2.2.1 Contexto Histórico da Formação de Nível Superior em Tecnologia

Segundo (ROCHA *et al.*, 2007) a engenharia entendida como a arte de engenhar, construir e produzir é tão antiga quanto a própria humanidade, porém apenas a partir do século XVIII surge a engenharia nos moldes que a concebemos hoje, com conhecimentos sistemáticos e utilizando a mesma linguagem da ciência.

Um marco importante na institucionalização do conhecimento em engenharia foi a criação

da primeira Faculdade de Engenharia a ENPC — *École Nationale des Ponts et Chaussées*, estabelecimento de ensino que foi fundado em Paris, em 1747, por iniciativa de Daniel Trudaine.

A essa primeira escola de engenharia seguiram-se outras como salienta (ROCHA *et al.*, 2007):

"Em 1794, Gaspar Monge e Lazare Carnot fundaram a *École Polytechnique*, que se tornou modelo de outras escolas de engenharia. A missão da *École Polytechnique* consistia em oferecer a seus alunos uma formação adequada para desenhar e realizar projetos completos e inovadores do mais alto nível, fundamentada a uma sólida cultura multidisciplinar, e treinamento com o objetivo de desenvolver atitudes de liderança, visando no futuro à ocupação de cargos no âmbito administrativo, científico, tecnológico e pesquisa. Com professores renomados como Fourier, Lagrange, Monge, (...), Poisson, entre outros. O curso tinha a duração de três anos e eram ministradas disciplinas básicas de engenharia, para posteriormente os discentes complementarem seus conhecimentos em outras escolas especializadas: *École de Mines, Ponts et Chaussées*, entre outras."

A fundação da *École Polytechnique* é um marco na formação do engenheiro *civil* uma vez que muitas instituições da época estavam vinculadas a atividades militares.

Em terras brasileiras a primeira instituição voltada ao ensino de engenharia foi a Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho, fundada em 1792, no Rio de Janeiro, apenas dois anos após a fundação de instituição semelhante em Lisboa (Portugal). Anteriormente, já existia a Aula de Fortificação instituída, em 1699, que ministrava conhecimentos de construção de natureza militar, mas não contava com um currículo formal.

É importante destacar que a criação da Real Academia de Artilharia vem a constituir-se o núcleo do qual surgiu a UFRJ. Na Figura 2.2.1 (ROCHA *et al.*, 2007), pode-se ver na linha temporal as transformações pelas quais passou até se constituir na UFRJ.

Note-se que até 1874, quando foi convertida em Escola Politécnica, esta instituição formava, além de engenheiros, oficiais do exército.

À semelhança do que aconteceu com a Real Academia, outras escolas de engenharia fundadas a partir do século XIX converteram-se em grandes Universidades Brasileiras, como podemos notar da descrição de (ROCHA *et al.*, 2007):

"Os Cursos de engenharia no Brasil até o meados do século XX tiveram o seu início a partir de 1893. A seguir são apresentados em ordem cronológica, os seguintes eventos:

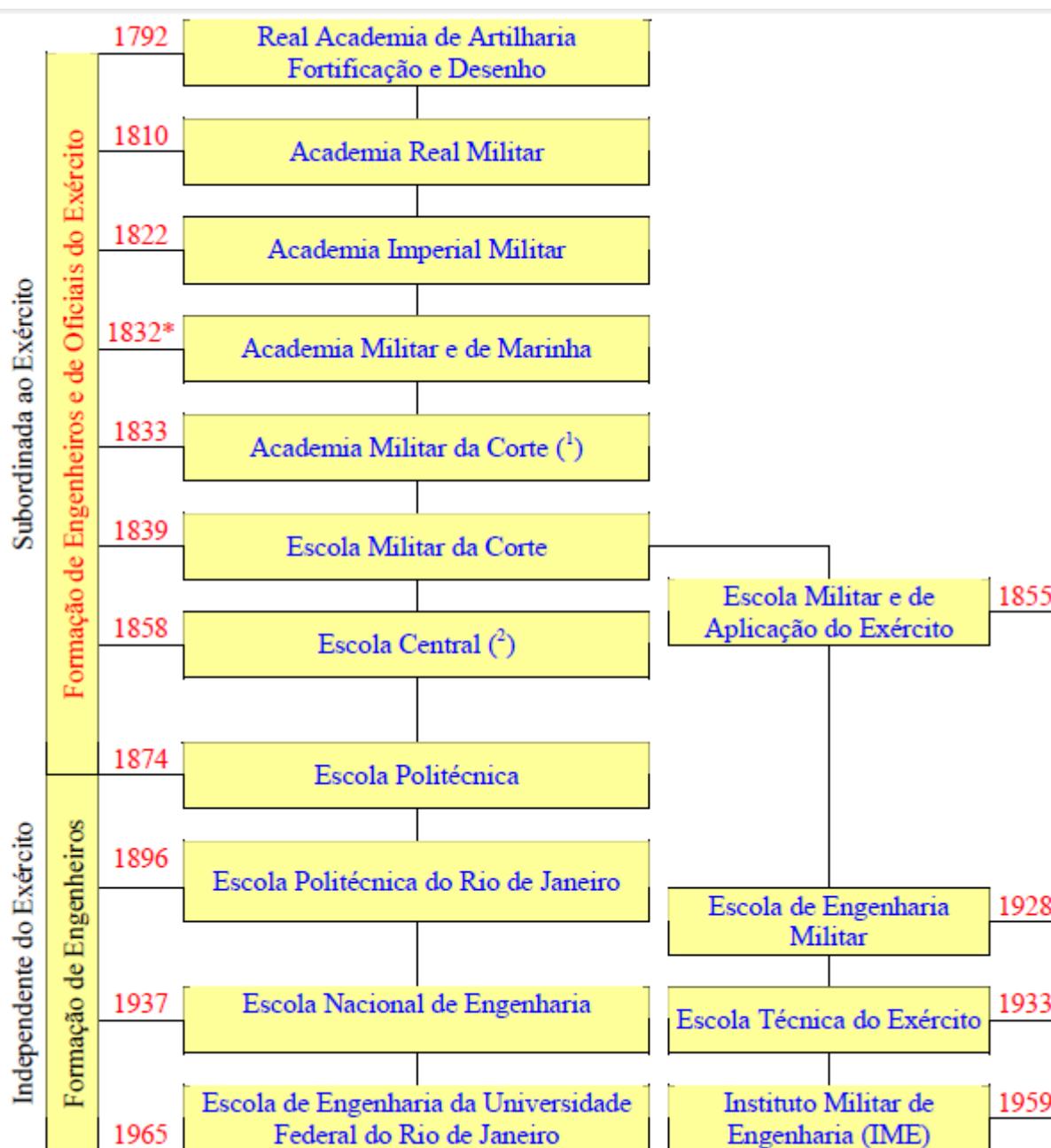


Figura 2.2.1: Evolução Histórica das Escolas de Engenharia do Brasil. Fonte: (ROCHA *et al.*, 2007)

- 1893 — Fundação da Escola Politécnica de São Paulo, denominada hoje USP com os seguintes cursos iniciais em Civil e Industrial (período 2 anos), Agrônomo e Mecânica (período 3 anos) e Agrimensor (período 2 anos);
- 1895 — Fundação da Escola de Engenharia de Pernambuco, denominada hoje UFPE com os seguintes cursos iniciais em Agrimensor (período 2 anos) e Civil (período 5 anos);
- 1896 — Fundação da Escola de Engenharia Mackenzie, denominada hoje UPM com o curso inicial em Civil (período 5 anos);
- 1896 — Fundação da Escola de Engenharia de Porto Alegre, denominada hoje UFRG com o curso inicial em Civil;
- 1897 — Fundação da Escola Politécnica da Bahia, denominada hoje UFBA com os cursos iniciais em Geógrafo (período 4 anos) e Civil (período 5 anos);
- 1911 — Fundação da Escola Livre de Engenharia, denominada hoje UFMG com os cursos iniciais em Civil (período 5 anos);
- 1912 — Fundação da Faculdade de Engenharia do Paraná, denominada hoje UFPR com o curso inicial em Civil;
- 1912 — Fundação da Escola Politécnica de Pernambuco, denominada hoje UFPE com os cursos iniciais em Civil e Química Industrial;
- 1913 — Fundação do Instituto Eletrotécnico de Itajubá, denominado hoje EFEI com os cursos iniciais em Mecânica e Elétrica (período 3 anos);
- 1914 — Fundação da Escola de Engenharia de Juiz de Fora, denominada hoje UFJF com o curso inicial em Civil Eletrotécnico (período 4 anos)."

Essas instituições contribuíram de maneira singular para o desenvolvimento nacional, e tornaram-se núcleos a partir dos quais foram surgindo novas escolas de engenharia. Estas instituições tradicionais, hoje servem de inspiração para a ampliação do número de cursos e instituições novas voltadas a essa área, especialmente nos últimos 10 anos.

No tocante à estrutura pedagógica, esses cursos foram tradicionalmente estruturados com base em preceitos da Escola Politécnica de Paris, muito voltados à transmissão do conhecimento existente e pouco afeita a desenvolver conceitos de inovação, que mais tarde viriam a inspirar as modernas escolas de engenharia através de planos pedagógicos que incorporam a formação por projetos, além da formação pós ensino.

2.2.2 Concepções de Tecnologia e Engenharia

Ao se falar sobre a formação em engenharia é preciso se ter em conta que esta é intrinsicamente relacionada às técnicas e tecnologias. Assim, se faz necessário compreender seu significado antes de se falar da formação do engenheiro no Brasil.

O termo tecnologia é polissêmico sendo a ele atribuídos diversos significados, desde a identificação com os artefatos tecnológicos até uma compreensão ampliada que atribui à tecnologia a natureza de uma atividade humana profundamente marcada por aspectos culturais e organizacionais.

A visão clássica sobre a tecnologia a conceitua como um conhecimento submisso à ciência, segundo um modelo linear no qual a ciência produz conhecimento que em seguida é utilizado no campo da tecnologia para a resolução dos problemas sociais e desenvolvimento humano. Essa visão linear vem, no entanto, recebendo críticas de diversos autores (BAZZO, 2011) (DAGNINO, 2008).

De maneira diversa a filosofia da tecnologia reclama para esta um *status* diferenciado, segundo o qual o conhecimento tecnológico é um conhecimento autônomo que apresenta inúmeras inter-relações como a ciência, ora fazendo uso dos conhecimentos científicos, mas também fornecendo elementos para a construção da ciência, como ilustram inúmeros exemplos históricos (SANMARTIN, 1992).

Sendo um conhecimento que não se confunde com a ciência, é preciso buscar uma definição própria para tecnologia. Um primeiro passo para a aproximação ao significado do termo é diferenciá-lo de técnica, uma vez que o senso comum costuma identificá-los como iguais. Para Baptista (1993) *apud* (SILVA, 2009) afirma que técnica é toda *disposição especial de meios e procedimentos particulares que visa a um determinado fim*, sendo que dentro desse conceito os objetos são relacionados à execução da ação, podendo ser diferenciados segundo seu nível de complexidade e suas utilidades como caracteriza (SILVA, 2009):

Ferramentas: são objetos que executam em contato imediato com a obra, um ato técnico relativamente específico, a exemplo de uma serra, uma chave de fenda ou um eletrodo. Utensílios: são objetos dotados de menor especificidade funcional; constituem-se de uma ferramenta passiva, a exemplo do estilete e do cadinho de porcelana. Instrumentos: são objetos de complexidade variável; geralmente menores que os aparelhos e mais específicos e delicados que as ferramentas, destinados tanto a agir como a recolher e exibir informações, a exemplo dos instrumentos cirúrgicos ou instrumentos legais. Aparelhos: são objetos dotados de maior complexidade formal que os anteriores. Tanto recolhem a informação como são capazes de processá-la, a exemplo do termômetro e do calorímetro. Máquinas: são objetos mais ou menos complexos. Constituídos por partes individualizadas,

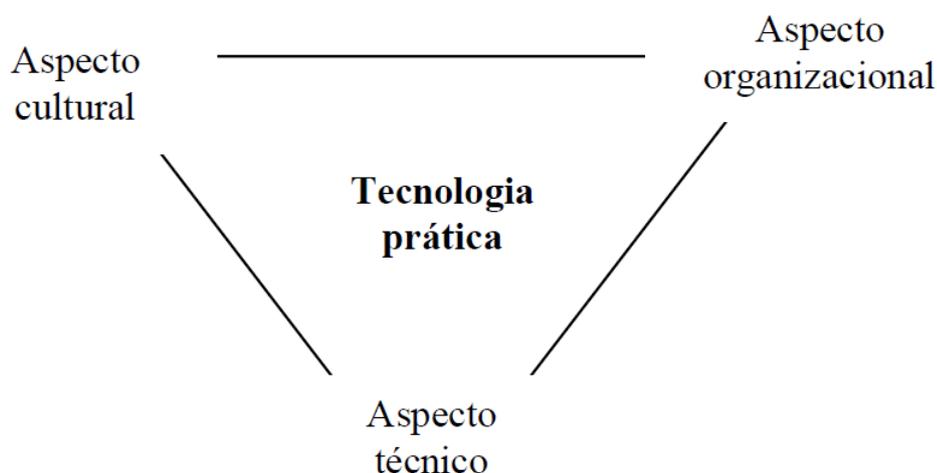


Figura 2.2.2: Modelo de Tecnologia Fonte:(LAYTON, 1988)

mecânicas, eletrônicas, óticas etc. Associam um conjunto de funções principais ou subordinadas a um conjunto de comandos a exemplo do cromatógrafo gasoso para quantificar os compostos orgânicos. Os objetos, por sua vez, podem estar reunidos entre si. Assim, denomina-se sistema o conjunto de máquinas e outros objetos que se comandam reciprocamente, e equipamento o conjunto de objetos referidos à mesma área de atividade.

A mesma autora, (SILVA, 2009) ao conceituar a tecnologia, busca diferenciá-la de técnica ao afirmar que:

(...) a Tecnologia é vista como resultado de produtos de natureza material manifestada nos artefatos tecnológicos considerados máquinas. Assim, objetos como automóveis, celulares, computadores, destiladores, torres de resfriamento seriam exemplos de objetos tecnológicos. Em síntese, o tecnológico seria relativo à produção de bens materiais que a sociedade demanda, podendo ou não estar ausente o porquê, o como, o para que e quem a produziu.

Assim, a tecnologia estaria na visão dessa autora intrinsecamente relacionada à produção de materiais, e portanto, vinculada em alguns níveis de atuação à produção industrial e às demandas de mercado.

Há porém, definições mais amplas para o termo tecnologia, entre as quais encontramos a definição de Pacey *apud* (LAYTON, 1988), segundo o qual a tecnologia é um sistema sociotécnico composto por aspectos culturais, organizacionais e técnicos, sendo este último dividido entre *know how* e aspectos materiais. A representação do modelo de tecnologia de Pacey *apud* (LAYTON, 1988) é mostrada na Figura 2.2.2.

Segundo essa perspectiva, a tecnologia engloba não apenas os aspectos materiais mas também elementos organizacionais como a cultura de inovação, elementos culturais relativos aos usos da tecnologia dentro de uma comunidade e aspectos técnicos como o conhecimento dos recursos humanos envolvidos na elaboração e construção de determinada tecnologia.

2.2.3 Questões sobre a Formação em Engenharia

Para além da demanda por mais vagas nas faculdades de engenharia e a capacidade técnica dos futuros profissionais, outras questões precisam ser pensadas no âmbito da formação. A primeira, e talvez central, é de qual tipo de engenheiro o Brasil quer e precisa para o seu desenvolvimento socioambiental.

Essa preocupação está fortemente vinculada à concepção de tecnologia que se tem. Se partirmos da definição de Pacey *apud* (LAYTON, 1988), descrita a seguir, vemos que a tecnologia envolve além dos aspectos técnicos questões culturais e organizacionais. Assim, um engenheiro adequado para essas necessidades tem que compreender como sua atuação se encontra condicionada por questões econômicas, ambientais e sociais.

Dentro dessa perspectiva, (CREMASCO, 2009) argumenta que o desenvolvimento tecnológico e, portanto, a atuação do engenheiro, foi marcado nos últimos anos não apenas por proporcionar um crescimento econômico e do bem-estar social, mas também por grandes problemas de natureza socioambiental como contaminação em larga escala, problemas bélicos e danos à saúde humana. Nas palavras desse autor, uma das exigências para os novos engenheiros, seria:

Face às possibilidades inteiramente novas da tecnologia, uma nova ética torna-se necessária e que diz respeito ao futuro do próprio planeta. Torna-se necessário o conhecimento dos efeitos de uma determinada atividade que não podem ser percebidos a uma primeira vista dos efeitos distantes que as gerações atuais jogam sobre os ombros das gerações futuras, de tal modo que se deve preservar o presente para que haja o futuro. Neste, é imprescindível a formação do engenheiro socialmente responsável. Para tanto e na intenção de contextualizar a expectativa da sociedade em relação à formação desses profissionais, urge resgatar princípios que norteiam a Responsabilidade Social para que sirvam de norte a uma bússola quase desgovernada que se arvora à nossa frente.

Para além do aspecto ético, outra demanda precisa ser considerada no âmbito dos currículos de cursos na área tecnológica: a inovação. Para (SILVEIRA, 2005) os currículos de engenharia devem se adaptar ao modo produtivo e, sobretudo, saber incorporar rapidamente as inovações

tecnológicas. Ao analisar a dinâmica das transformações curriculares e produtivas em outros países (SILVEIRA, 2005) comenta:

As mudanças sociais e de mercado exigem a revisão da função do engenheiro e, portanto, de sua formação. Essas mudanças, entretanto, não podem ser feitas apenas no interior do ambiente acadêmico, mas sim em um processo que envolve o setor produtivo e outros representantes da sociedade civil e do governo. A sociedade norte americana reviu o ensino de engenharia nos Estados Unidos sempre que grandes modificações ocorriam na sociedade. Revisões foram feitas no início do século XX, após a crise da bolsa de 1929, antes da segunda grande guerra, após a vitória nesta guerra, ao início da guerra fria e ao seu término. Em todos os casos, a revisão foi feita conjugando os ambientes acadêmico e empresarial. Este é um exemplo de que aquela sociedade, muito pragmática, compreendeu que a evolução nos processos produtivos vira as páginas da história, e que os processos produtivos definem a função de engenheiro e não o contrário. A liderança dos Estados Unidos no cenário mundial ao longo deste século deveu-se às suas conquistas científicas e tecnológicas e habilidade de aplicá-las nos processos produtivos. Esta liderança somente foi ameaçada pelo Japão quando este conseguiu ser mais rápido na aplicação de resultados científicos e tecnológicos, muitos, inclusive, obtidos fora de seu país; e agora está sendo ameaçada pela União Européia, na medida em que esta se adapta aos novos processos produtivos em sinergia com seu notável capital cultural.

Partindo, desses pressupostos, engenheiros brasileiros deveriam ser formados conforme as necessidades de desenvolvimento nacional e, simultaneamente preparados para atuar produzindo, incorporando e adaptando inovações tecnológicas.

Sob esse ponto de vista, pode ser acrescido o pensamento de (DAGNINO, 2008) e Herrera (2003) *apud* (STRIEDER, 2012) que afirmam ser necessário aos países pobres desenvolver políticas de C&T que incentivem a produção de tecnologias voltadas aos seus problemas e necessidades, com vistas a superar o seu histórico subdesenvolvimento.

Assim, termos engenheiros cujo currículo voltado à reprodução dos conhecimentos estabelecidos, mas que sejam capazes de desenvolver tecnologia de conteúdo nacional que ofereça soluções aos nossos problemas e projete a produção nacional a níveis de competitividade internacional.

Dentre as muitas possibilidades de enfoque para a obtenção desse perfil nos futuros profissionais de engenharia o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) parece ser uma alternativa conforme argumenta (BAZZO, 2002) e (BAZZO, 2011). Este enfoque, que busca

abordar as relações estabelecidas entre a tecnologia, os conhecimentos científicos e o contexto social, traria na visão do autor alguns benefícios, assim descritos em (BAZZO, 2002):

"Talvez com a inclusão de preocupações ligadas aos aspectos sociais da análise da ciência e da tecnologia surja um diferencial na solução dos problemas vislumbrados, o que parece constituir uma das chaves mestras do desencadeamento de um novo quadro no ensino de engenharia. Porém, para que isso possa acontecer é preciso uma quebra na rigidez excessiva como nós, professores, trabalhamos o conhecimento no nosso cotidiano. Precisamos nos conscientizar de que um educador deverá ser necessariamente um técnico, um filósofo, um político, um cidadão com consciência social, ou não será um educador. O ensinar não pode constituir uma questão individualista associada a um virtuosismo formalístico. É preciso dar um sentido ao aprendizado no que diz respeito ao existir social da comunidade num tempo histórico bem definido. A introdução do assunto CTS na tradicional área técnica da engenharia, além de servir como agente motivador no aprendizado, servirá como catalisador da capacidade crítica reflexiva dos assuntos que permeiam a vida do ser humano como um ser social. Dentro deste enfoque e desta análise, quanto à atuação do professor, podemos destacar duas questões que demonstram um necessário ataque efetivo ao problema(...)".

Outros enfoques teóricos são possíveis na orientação de novos currículos dos cursos tecnológicos. Porém um aspecto relevante emerge dessas discussões anteriormente relatadas: a academia deve buscar uma reformulação curricular, uma vez que se depositam sobre ela expectativas sobre a possibilidade de desenvolvimento nacional. E, tendo-se em vista que as propostas curriculares na maior parte das Universidades Brasileiras são elaboradas e avaliadas no âmbito dos departamentos, recai sobre esses e, de maneira particular, sobre a gestão departamental, a missão de analisar e propor mudanças nos cursos de maneira constante, proporcionando interação com o setor produtivo, a pesquisa e a inovação.

Formação em Engenharia: Novos Desafios

Há alguma relação entre o número de graduados em engenharia e o desenvolvimento econômico de um país? Este é um questionamento que pode ser feito quando se discute as questões relacionadas à formação em engenharia.

Alguns artigos sugerem que há uma relação entre os cursos de engenharia e o desenvolvimento econômico de determinada região ou localidade, como é o caso de dois trabalhos do Observatório Brasileiro de Educação em Engenharia (CARVALHO; PEREIRA; OLIVEIRA, 2012) (OLIVEIRA; ALMEIDA; CARMO, 2012).

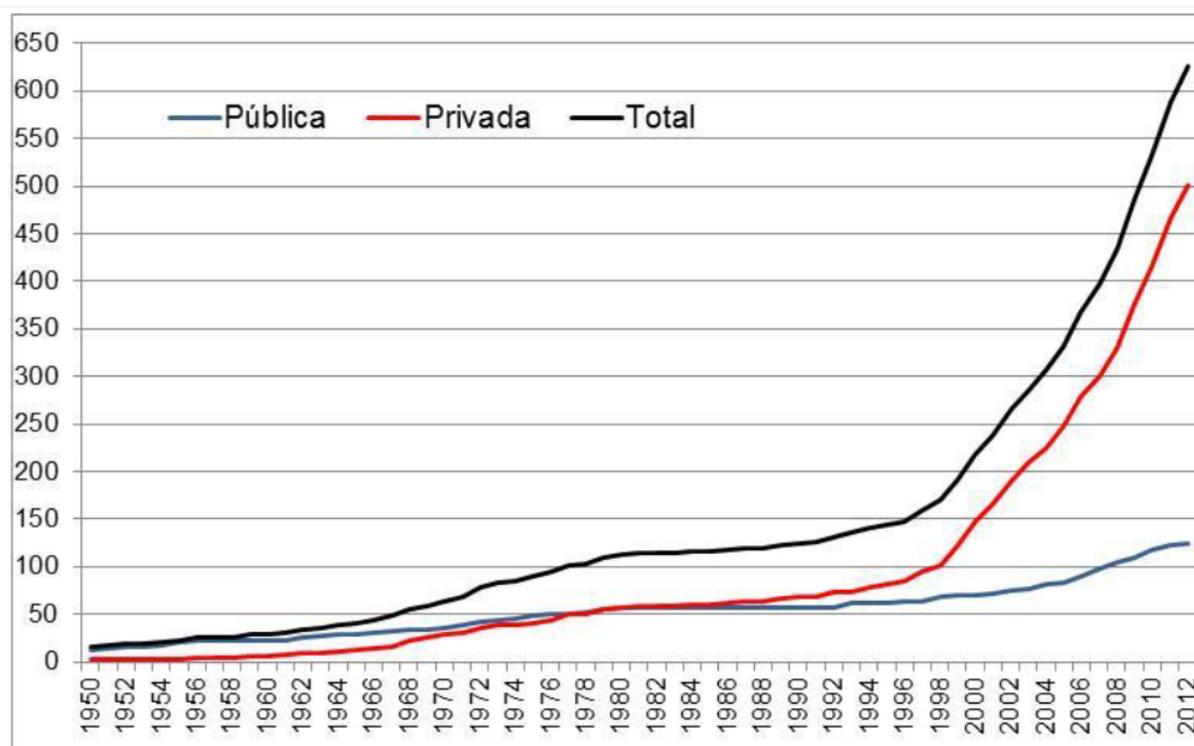


Figura 2.2.3: Gráfico comparativo da oferta de profissionais de Engenharia por Instituições Públicas e Privadas. Fonte:(OLIVEIRA *et al.*, 2013)

No primeiro artigo, o grupo discute as diferenças regionais brasileiras chegando à conclusão de que há uma relação direta entre o PIB, o número de cursos de engenharia e o número de matrículas em cursos, conforme os dados que mostram uma razão menor entre o percentual dos cursos de engenharia pelo percentual da população nas regiões Norte e Nordeste. Essas regiões também apresentam os menores PIB's *per capita*.

Outra conclusão do estudo é que no Brasil a expansão da oferta do ensino superior em engenharia tem se dado com maior frequência em instituições privadas, o que pode se notar nas duas regiões nas quais há maior quantidade de cursos e matrículas: Sudeste e Sul. Essas regiões possuem um PIB *per capita* acima do *per capita* brasileiro, indicando que a renda média é superior às demais regiões, o que acarreta uma demanda maior por profissionais no campo da engenharia. As instituições privadas, nesse caso, têm suprido a formação desses profissionais em maior quantidade do que aquelas públicas, como pode ser percebido na Figura 2.2.3 (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Como se percebe, a oferta cresceu em ambas as redes (pública e privada), mas a expansão dos cursos nas instituições privadas corresponde à maior fração desse incremento, isto até 2012.

Em (OLIVEIRA; ALMEIDA; CARMO, 2012), são analisados os dados de formação de engenheiros no Brasil comparados a formação em países do BRICS e da OCDE.

É constatado que o número de matrículas em cursos de engenharia (graduação e

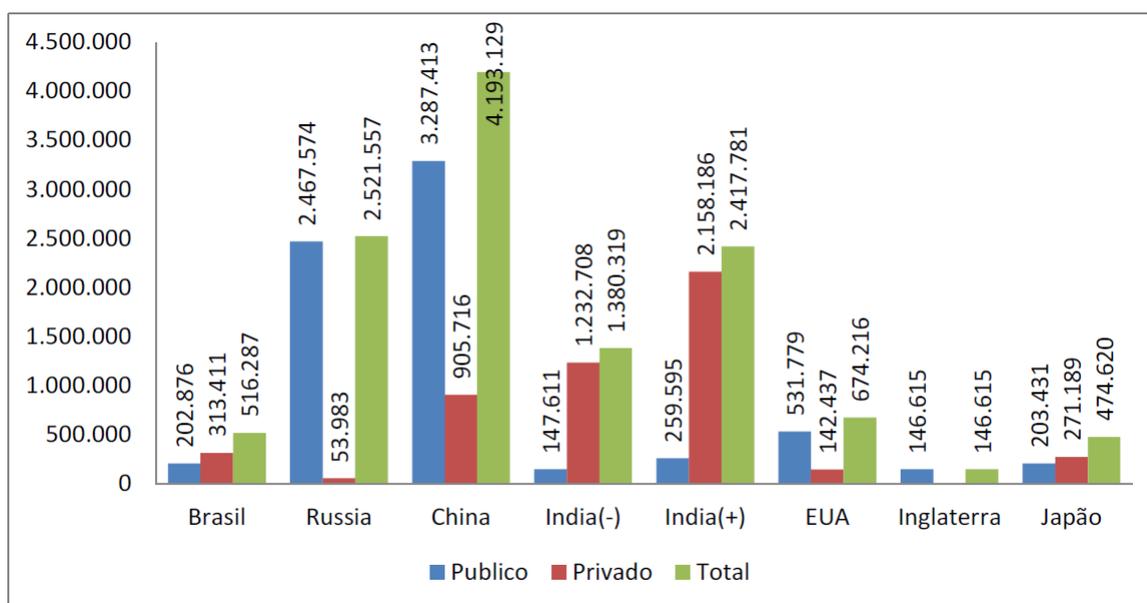


Figura 2.2.4: Matrículas em Engenharia em vários países. Fonte:(OLIVEIRA *et al.*, 2013)

pós-graduação *strito sensu*) no Brasil é compatível com o número de matrículas dos países ricos (EUA, Inglaterra e Japão), havendo, porém a ressalva que o número de matrículas só recentemente atingiu esse patamar o que significa que nesses países, diferentemente do que acontece no Brasil, o acúmulo de engenheiros formados é bem superior.

Ainda sobre o número de matrículas, os dados brasileiros ficam muito aquém dos valores de outros países em desenvolvimento como Rússia e China, como se pode perceber na Figura 2.2.4 a seguir extraída de (OLIVEIRA; ALMEIDA; CARMO, 2012).

Quando se analisa, no entanto, o número de estudantes matriculados por milhão de habitantes em cursos de engenharia os valores brasileiros chegam a ser numericamente superiores aos encontrados nos EUA, Índia e Inglaterra, como se pode notar na Figura 2.2.5.

Outro dado relevante é o percentual de engenheiros graduados que fazem mestrado após concluir sua graduação. Nesse item o Brasil encontra-se na última colocação entre os países que compuseram o estudo, parecendo mostrar que a verticalização da pesquisa na área não está ainda consolidada no território nacional. Como consequência, o Brasil apresenta um grande número de graduados e especialistas entre os docentes de cursos superiores de tecnologia, o que não favorece à evolução dos cursos, o que tem impactado nos baixos índices de registro de patentes brasileiras. A Figura 2.2.6 apresenta os dados de formação por nível nos países analisados.

Esses dados mostram que a despeito da grande evolução no quadro de oferta de vagas no ensino superior, o Brasil mostra ainda um quadro de carências no que tange à formação de engenheiros para o desenvolvimento nacional.

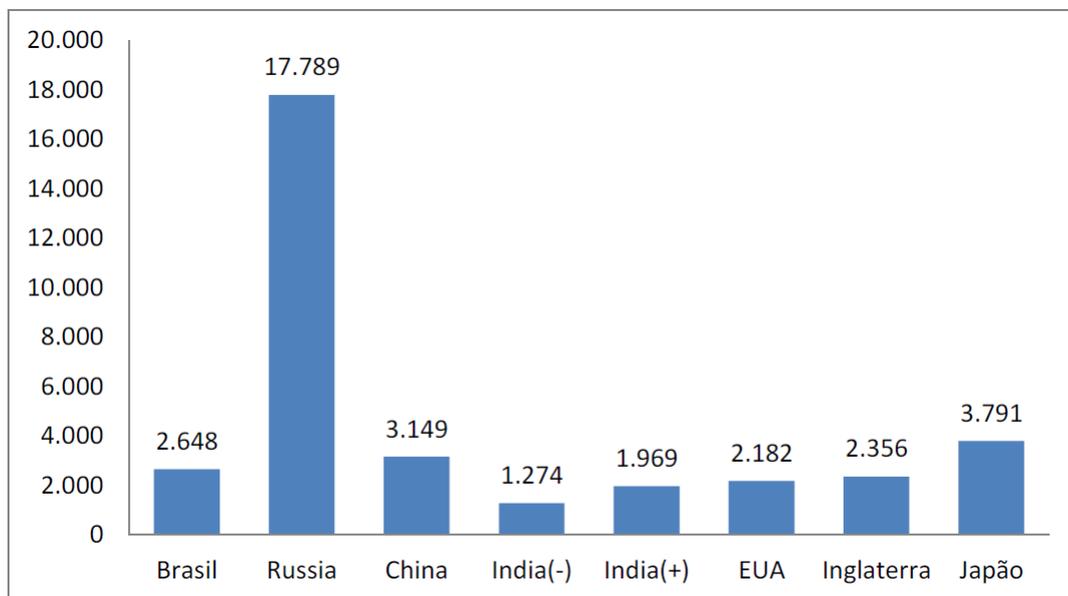


Figura 2.2.5: Matrículas em Engenharia por milhão de habitantes. Fonte:(OLIVEIRA *et al.*, 2013)

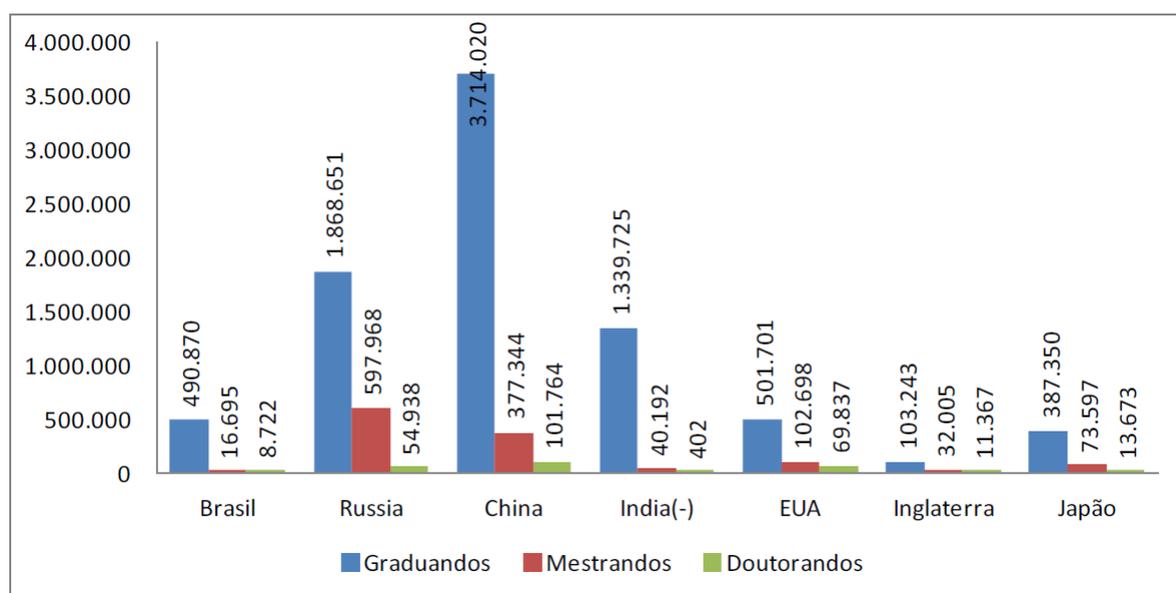


Figura 2.2.6: Formação por Níveis em diversos países. Fonte:(OLIVEIRA *et al.*, 2013)

No decorrer desse capítulo, viu-se que a formação na área de tecnologia e engenharia, mesmo sendo uma área estratégica para o desenvolvimento de um país, enfrenta desafios que devem ser superados, relacionados a aspectos qualitativos e quantitativos no que diz respeito a oferta de profissionais frente a demanda da sociedade.

Foram analisados ainda, aspectos referentes à avaliação, esta como elemento significativo para a fundamentação no que diz respeito às intervenções na melhoria da qualidade da formação. Os índices de qualidade gerados pelos processos avaliativos devem ser vistos como indicativos da efetividade da formação alcançada pelas instituições formadoras.

Frente ao exposto, faz-se no capítulo seguinte a fundamentação das ferramentas matemáticas que foram utilizadas no decorrer do desenvolvimento da pesquisa, que podem ser usados como apoio a avaliação do ES.

3 FERRAMENTAS MATEMÁTICAS PARA A AVALIAÇÃO EDUCACIONAL

Quando existe uma necessidade de analisar os fenômenos que acontecem no cotidiano, da-se conta que geralmente estes sofrem influência de muitos fatores, contudo temos consciência que estes não possuem o mesmo peso na hora de tomar uma decisão a respeito dos encaminhamentos necessários para possíveis intervenções (VICINI, 2005). Historicamente, os métodos estatísticos analisavam as variáveis de forma isolada. Este tipo de análise é útil, mas sempre deixa de considerar algumas variáveis e suas interações, fazendo com que os fenômenos sejam estudados de forma parcial.

A evolução e o crescente uso dos computadores vem proporcionando análises cada vez mais complexas, nas quais é possível considerar um número cada vez maior de variáveis, contribuindo para a identificação de "relações existentes entre as variáveis que não são percebidas, efeitos desconhecidos, entre variáveis, que dificultam a interpretação do fenômeno a partir das variáveis consideradas". (VICINI, 2005).

Geralmente o seu uso acontece quando os processos são aleatórios e complexos, nas quais as várias variáveis podem ser analisadas pela estatística multivariada (BRUNS; FAIGLE, 1985). De outro lado, considerando que certas variáveis têm peso desprezível nos processos, pode-se lançar mão de métodos que possibilitem a redução do volume de variáveis e ainda manter as características mais importantes dos dados iniciais, permitindo, assim uma análise menos complexa do conjunto de dados.

Geralmente a escolha dos métodos de análise se dão (HAIR, *et al*, 2004). *apud* (VICINI, 2005).

"... de acordo com os objetivos da pesquisa, pois sabe-se que a análise multivariada é uma análise exploratória de dados, prestando-se a gerar hipóteses, e não tecer confirmações a respeito dos mesmos, o que seria uma técnica confirmatória, como nos testes de hipótese, nos quais se tem uma afirmação a respeito da amostra em estudo. Embora, às vezes, possa ser utilizada para confirmação dos eventos."

Isto acontece devido ao fato de cada método possuir sua própria fundamentação teórica

e sua consequente aplicação mais adequada. O uso das ferramentas matemáticas, nesta tese, com a finalidade de estudar/analisar os processos de avaliação institucional, baseia-se na implementação de métodos matriciais (algébricos), como a Análise de Componentes Principais (do inglês *Principal Components Analysis* — PCA), bem como na aplicação de métodos de ordem superior a 2, métodos tensoriais (álgebra multilinear), como o método denominado modelo de Tucker³.

A justificativa do uso de tais métodos está baseada no fato de que atualmente, muitas áreas do conhecimento humano (Engenharia, Agricultura, Psicologia, Química, Climatologia, Meteorologia, Economia, Biologia)(conforme diz (KOLDA; BADER, 2009)), vem necessitando analisar bases de dados cada vez mais volumosas, e para isto estão fazendo uso, com sucesso, da estatística multivariada associada aos métodos lineares e multilineares álgebra multilinear. Para que se entenda o uso destas ferramentas matemáticas e estatísticas, sobretudo no contexto educacional, alguns trabalhos vem sendo desenvolvidos já no contexto da UFC (SILVA *et al.*, 2012) (VASCONCELOS *et al.*, 2013) (NUNES *et al.*, 2013) (NUNES *et al.*, 2014) (NUNES *et al.*, 2015). Avaliação educacional baseada em métodos matemáticos avançados tem sido cunhado com o nome de "Educametria".

Busca-se analisar as inter-relações dos métodos de gestão implementados e os seus possíveis reflexos na qualidade dos cursos superiores no âmbito da UFC, sobretudo no que diz respeito às avaliações externas. Apresentamos como proposta, o uso de Métodos de Análise Matricial e de Análise Tensorial como suporte para a identificação destas possíveis relações. Como proposto, faz-se necessário discutir os aspectos teóricos das áreas envolvidas, o que fazemos a seguir.

3.1 Métodos de Análise Matricial

Quando se trata com decomposições matriciais busca-se, por meio da organização dos dados/fatos em vetores, matrizes e tensores (em casos de arranjos matriciais de ordem superior a 2), por informações, que podem até estar colocadas de forma implícita, de forma ordenada e/ou ponderada. Dessa forma, os dados podem ser organizados na forma vetorial e matricial, tornando a referida análise um tanto mais simples. Nesta seção, fundamenta-se o PCA.

3.1.1 Análise de Componentes Principais — PCA

O PCA, discutido nesta seção, é uma técnica multivariada que tem como objetivo realizar a redução de posto ou *rank* de uma matriz de dados que leve à redução de dimensionalidade da projeção de um conjunto de dados descritos em plenitude em k dimensões, para um número de

p dimensões independentes, onde $p < k$.

A técnica estatística denominada de *PCA*, recebe ainda as denominações: *Empirical Orthogonal Functions*, *Factor Analysis*, *Eigenvector Analysis*, transformada de Karhunen-Loève (KLT) (SILVA, 2008). O referido método é utilizado para identificar padrões em dados, bem como para dar uma organização que possa oferecer uma simplificação e um poder de análise com um número menor de dimensões para a representação dos dados originais.

O método *PCA*, portanto, consiste em reduzir a dimensionalidade de representação do conjunto de dados, em que geralmente existe um número elevado de variáveis inter-relacionadas, porém mantendo-se a energia próxima daquela que existe no conjunto de dados, partindo do entendimento de que energia explica a variabilidade dos mesmos. Dessa forma, ocorre um tipo de compressão na representação do volume de dados, contudo, sem perder informações relevantes.

Nesse caso, o processo consiste na obtenção de um novo conjunto de dados que possui um número menor de variáveis descorrelacionadas ou ortogonais, que guardam a maior parte da variância que existe nos dados que os originaram.

Dessa forma, uma análise de componentes principais tem por objetivo a substituição de um conjunto de variáveis correlacionadas por um outro conjunto de novas variáveis não correlacionadas, onde essas são combinações lineares das variáveis originais, dispostas em ordem decrescente de variâncias (VERDINELLI, 1980) *apud* (SAAD, 2009).

No presente trabalho foi utilizado, para análise, o método *PCA*, com o objetivo de avaliar e validar o instrumento construído, que é detalhado na próxima seção, afim de obter informações sobre a gestão dos cursos de engenharia, tecnologia e afins da UFC. O *PCA* é um método de estatística multivariada que reduz o espaço de representação de medidas das informações trazidas pelos dados, cujos efeitos mais significativos são preservados em relevância nos espaços mantidos para a análise.

O processo se dá pelo descarte de espaços com pouca energia na representação das características dos dados em análise, não considerando, portanto, medidas de informações redundantes ou desprezíveis. O *PCA* é utilizado para analisar as relações integradas dos dados obtidos a partir de medidas estatísticas, buscando identificar padrões, possíveis inferências e classificações no conjunto de dados em análise.

Neste trabalho, parte-se de uma base de dados na forma matricial, sendo formada por vetores coluna cujas M componentes são originadas das respostas dadas ao instrumento, por parte dos docentes dos cursos em análise. Procura-se relacionar as entradas da matriz \mathbf{X} , através

da formação de medidas de covariância ou de correlação dos dados. Desta forma, faz-se uso das características algébricas do novo conjunto de informações obtidas (TABACHNICK; FIDELL, 2001) (CATTELL, 1966).

A análise baseada em PCA neste trabalho, parte da matriz de coeficientes de correlação, a qual destaca as relações dos dados em um domínio de observação, representado pelas p colunas linearmente independentes da matriz \mathbf{X} , supondo que $P < M$, indicando que a matriz \mathbf{X} possui posto completo P .

Deve-se ressaltar que o autovetor associado ao maior autovalor da matriz de coeficientes de correlação dos dados, representa a direção de projeção com a maior intensidade (carga) de informações, do conjunto de dados original.

O método PCA é calculado a partir da base de dados original, representada pela matriz \mathbf{X} , seguindo a sequência apresentada na Eq. 3.1

$$\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1 | \dots | \mathbf{x}_i | \dots | \mathbf{x}_p] \in \mathbb{R}^{M \times P} \text{ em que } \mathbf{x}_i, i \in [1, P], \quad (3.1)$$

em que $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^{M \times 1}$ é um vetor coluna cujas M componentes são os dados observados. Procura-se relacionar as entradas de \mathbf{X} , através da formação de medidas de covariância ou de correlação dos dados. Este novo conjunto de informações, formado a partir do conjunto de dados original, tem algumas características algébricas importantes, que possibilita uma melhor análise sobre os dados em si, dos quais se pode citar a retirada de características redundantes e/ou com energia desprezível (GREEN, 2011) (TABACHNICK; FIDELL, 2001). A seguir, apresenta-se o algoritmo para o cálculo do PCA, o processo também pode ser visualizado no pseudocódigo no apêndice B.1.

Algoritmo

1. Padronização dos atributos

- (a) Centralizar, subtrair todos os elementos pela média, tornando sua distribuição ao redor do eixo: A Eq. (3.2) é a função da obtenção média.

$$\mu_p = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M (x_{l,p}), \quad (3.2)$$

em que, os dados centralizados, \mathbf{c}_p , são obtidos com

$$\mathbf{c}_p = \mathbf{x}_p - \mu_p,$$

os \mathbf{c}_p

- (b) Finalizar, dividir todos os atributos centralizados, ou seja, os pelos componentes de

\mathbf{c}_p , pelos seus respectivos desvios, dados por (Eq. 3.3)

$$s_p^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{l=1}^M (x_{l,p} - \mu_p)^2. \quad (3.3)$$

2. O cálculo da matriz de covariância é obtido pelo seguinte procedimento (Eq. 3.4):

(a) Tendo-se uma dada matriz $\mathbf{M} \in \mathbb{R}^{P \times Q}$, onde, $p, q \in \mathbb{N}$ e cada elemento $m_{p,q}$

$$c_{j,k} = \frac{1}{(M-1)} \sum_{l=1}^M (m_{l,j} - \mu_j)(m_{l,k} - \mu_k), \text{ para } j, k = 1, \dots, P. \quad (3.4)$$

Cada coeficiente $c_{j,k}$ deve ser dividido pelo produto dos desvios padrões dos atributos. Dessa forma com o uso da Eq. (3.3) e da Eq. (3.4), obtém-se

$$r_{j,k} = \frac{c_{j,k}}{s_j s_k}. \quad (3.5)$$

3. Com os dados padronizados pelas Equações (3.3) e (3.2), pode-se obter a matriz de correlação pela aplicação da matriz de covariância descrita pelas Equações (3.4) e (3.5).

Tal matriz de correlação pode ser representada por $\mathbf{R} \in \mathbb{R}^{P \times P}$

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 1 & r_{1,2} & \dots & r_{1,p} \\ r_{2,1} & 1 & \dots & r_{2,p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p,1} & r_{p,2} & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

em que $r \in I = [-1, 1]$.

4. Com a aplicação da decomposição em autovalores e autovetores, obtemos, respectivamente, um vetor de variância explicada e uma matriz de transformação chamada de matriz de fatores. O produto da matriz de fatores \mathbf{F} com a matriz original \mathbf{X} padronizada permite a obtenção da matriz de componentes principais \mathbf{Z} , como segue na Eq. (3.6)

$$\mathbf{Z} = \mathbf{XF}. \quad (3.6)$$

em que a matriz de fatores \mathbf{F} é dada pelos autovetores da matriz de correlação \mathbf{R} , permitindo uma análise individualizada da relação de cada componente com cada atributo original.

Os autovalores obtidos equivalem à chamada matriz de variância explicada e permitem verificar o grau de explicação de cada componente do conjunto de dados originais.

Discussão do processo A matriz de covariância, cujo cálculo sobre o conjunto de dados originais retorna a quantidade de redundância observada entre os dados (KRAUSE; FRANZ; STEVENSON, 2011), é um arranjo simétrico conforme descrito anteriormente, sendo que $i, j = 1, \dots, n$. Assim, o arranjo matricial de covariâncias de um vetor aleatório real a é uma matriz semi-definida positiva, tal que, $a \geq 0$, isto é, os autovalores λ obtidos são superiores ou iguais a zero. Assim, os autovalores λ , bem como os autovetores \mathbf{V} , da matriz \mathbf{X} são calculados por

$$\det(\mathbf{X} - \lambda \mathbf{I}_n) = 0. \quad (3.7)$$

A Eq. (3.7) é conhecida especialmente como problema autovalor/autovetor (GREEN, 2011), em que \mathbf{I}_n é uma matriz identidade de dimensão n . Os autovalores indicam a importância relativa de cada autovetor que irá formar a nova base ortonormal, haja vista que no PCA, o eixo de coordenadas do conjunto de dados originais são rotacionados para um novo sistema de coordenadas que tenham inerentes propriedades estatísticas, a fim de encontrar eixos ortogonais ao longo do qual se maximiza a variância dos dados (KRAUSE; FRANZ; STEVENSON, 2011); (CHAEA; WARDEB, 2006).

Assim, os autovetores são ordenados em ordem decrescente de acordo com o respectivo autovalor, de tal forma que os maiores autovetores serão as primeiras novas variáveis (componentes principais) da base original transformada. Desta forma, a nova base $\mathbf{z} = (z_1, \dots, z_n)$, é formada pela combinação linear das variáveis originais como apresentado na Eq.(3.6).

A base formada pelas novas componentes \mathbf{Z} geradas, são combinações lineares não correlacionadas, podendo, desta forma, identificar o grau de contribuição de cada variável em relação à variância total dos dados originais. Devido à construção do modelo, a primeira componente, que captura a maior fração de variância dos dados, é sempre a mais representativa, e as demais hierarquicamente organizadas de forma descendente de seus respectivos autovalores, assumem os menores valores de variância, possuindo conseqüentemente menor representatividade (LU; PANDOLFO, 2011).

3.2 Métodos de Análise Tensorial

A análise multidimensional é uma área que explora conjuntos de dados chamados de tensores cuja organização não fica necessariamente restrita ao plano unidimensional ou bidimensional, podendo abranger n -dimensões. Os primeiros trabalhos dentro desta área são atribuídos a Hitchcock, em 1927. Estes deram suporte aos modelos de Cattell em 1944 (KOLDA; BADER, 2009), havendo uma expansão na década de sessenta pelos trabalhos de Tucker. Posteriormente, os trabalhos de Carroll, Chang, Harshman na área de psicometria

foram cruciais para o desenvolvimento das análises multidimensionais na década de setenta (KOLDA; BADER, 2009). Outras áreas passaram a utilizar essas ferramentas tais como: a quimiometria; áreas de saúde; processamento de sinais; visão computacional, álgebra linear numérica, aplicações e análises de grafos e neurociência (KOLDA; BADER, 2009)(SMILDE; BRO; GELADI, 2004).

A aplicação dos tensores de alta ordem, como são chamados os tensores com ordem maior do que dois, faz-se muitas vezes necessária por causa da relação multidimensional dos dados. A finalidade da análise é diversificada, podendo-se buscar a exploração de características nos dados, ou ainda auxiliar no processo de classificação dos mesmos, bem como realizar uma predição. Isso porque estes métodos são capazes de reduzir dimensões, assim como o PCA, contudo sem restrições quanto a dimensionalidade (SMILDE; BRO; GELADI, 2004).

Neste trabalho já foi abordado a análise bidimensional com o PCA e irá ser abordado uma análise multidimensional demonstrando que estas além de corroborarem para resultados similares ao do PCA permitem obter uma análise mais abrangente e expressiva. Este capítulo apresentará o formalismo matemático dos métodos de análise, as definições matemáticas utilizadas para operações como produtos e o sistema de notação. Ainda faz-se uso de um sistema pictográfico comumente utilizado na literatura para explicitar tais métodos.

3.2.1 Notação tensorial e definições

As decomposições tensoriais possuem uma estrutura razoavelmente complexa haja vista serem desenvolvidas mais intensamente em aplicações nestes últimos 20 anos em um grande número de áreas no contexto de análise e síntese de dados estruturados. A álgebra multilinear envolvida já recebeu inúmeras representações. Uma representação comum e útil para finalidades aplicativas e didáticas é a pictográfica como pode ser visto nas seguintes referências: (CICHOCKI *et al.*, 2009); (SMILDE; BRO; GELADI, 2004); (KROONENBERG, 2008) e alguns artigos como: (KOLDA; BADER, 2009); (CICHOCKI *et al.*, 2014). Ela possui uma apresentação clara e simples dos processos e da organização dos dados. Segue nesta seção uma síntese da representação de escalares, fibras, matrizes, *slices* e dos tensores em si contidos naquela representação. Ademais, serão apresentadas algumas operações essenciais a estes métodos tais como o processo de matriciação e os produtos utilizados nos métodos.

Escalares

Um escalar x é definido como um tensor de ordem-0. Isso porque uma matriz $x \in \mathbb{R}^{1 \times 1}$ é representada por um único valor.

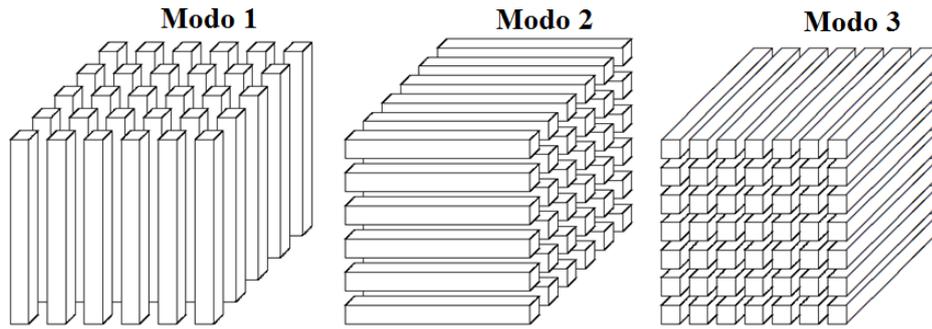


Figura 3.2.1: Retas selecionadas de um tensor de ordem três, apenas uma dimensão varia para cada reta, imagem retirada do artigo. Fonte: (KOLDA; BADER, 2009)

Fibras: linhas, colunas e tubos

Quando uma matriz \mathbf{X} possui representação que só possui um grau de liberdade como, por exemplo, $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ ou $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{1 \times m}$, em que $n > 1$ e $m > 1$, diz-se que se refere a uma fibra. Quando $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ será uma fibra do tipo coluna e quando $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{1 \times m}$ será uma fibra do tipo linha.

Discutindo uma fibra na terceira dimensão de um tensor $\mathcal{M} \in \mathbb{R}^{1 \times 1 \times p}$, $p > 1$, então fala-se em uma fibra do tipo tubo (SMILDE; BRO; GELADI, 2004).

Note que a seleção das fibras pode ser feita em cima de tensores de ordem três como mostrado na Figura 3.2.1 (KOLDA; BADER, 2009). Na Figura 3.2.1 pode-se verificar os tubos de um tensor $\mathcal{M} \in \mathbb{R}^{n \times m \times p}$.

Na Figura 3.2.1, cada dimensão n escolhida é dada o nome de modo- n pois o modo define qual posição é referência para as dimensões.

Slices frontais, laterais e verticais

Os *slices* são seleções de matrizes oriundas de tensores. Assim como a definição de fibras, os *slices* podem ser selecionados por modos, mas, ao contrário das fibras, a definição de um *slice* no modo- n indica que um valor de uma das dimensões é fixada enquanto as demais variam. Assim, pode-se tomar como referência o tensor $\mathcal{M} \in \mathbb{R}^{m \times n \times p}$, dos quais $n, m, p \in \mathbb{N}$ abrangem as dimensões do tensor, como pode ser observado na Figura 3.2.2 (KOLDA; BADER, 2009).

Matriciação e desmatriciação

O processo de matriciação, conhecido em inglês como *unfold* ou *flattening*, é uma operação que altera a organização dos tensores de dados transformando-os em matrizes. Essa operação é importante para a realização de uma série de algoritmos e decomposições, assim como para o

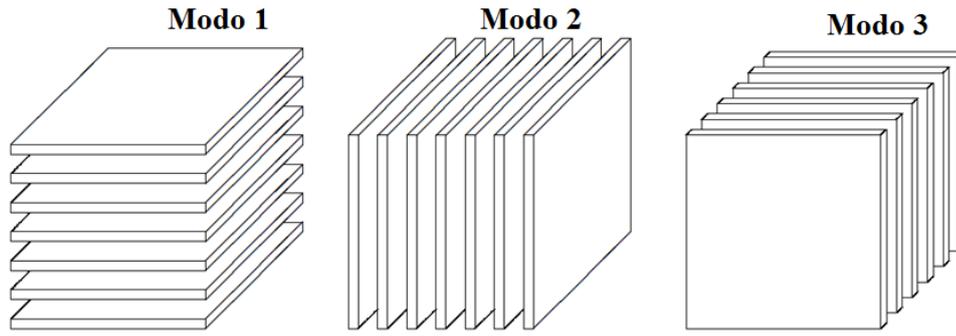


Figura 3.2.2: Cada corte em modos um, dois e três respectivamente, imagem retirada do artigo. Fonte: (KOLDA; BADER, 2009)

entendimento dos processos decorrentes e seus encanhamentos para a análise.

Deve-se escolher uma dimensão chamada de modo- n . Tal modo- n é usado para organizar o tensor na primeira dimensão, as demais dimensões são utilizadas em ordem para organizar os dados seguindo cada uma das outras dimensões posteriores.

Segue, por exemplo, um tensor $\mathcal{X} \in \mathbb{R}^{I_1 \times I_2 \times \dots \times I_N}$ matriciado no n -ésimo modo $\mathbf{X}_{(n)}$, no qual cada elemento pertencente a x na dimensão n possui um tensor representado por (i_1, i_2, \dots, i_N) , em que, cada elemento da matriz $\mathbf{X}_{(n)}$ é (i_n, j) , cuja a i -ésima posição é representada pela equação (3.8) (KOLDA; BADER, 2009)

$$j = 1 + \sum_{k=1, k \neq n}^N (i_k - 1)J_k, \text{ com } J_k = \prod_{m=1, m \neq n}^{k-1} I_m. \quad (3.8)$$

O processo inverso pode ser chamado de desmatriciação, ou *fold* em inglês, que trata da definição das dimensões do tensor especificado e a matriz é levada seguindo o processo contrário de formação e de inserção dos índices.

Produto modo- n

O produto modo- n é definido como o produto entre um tensor e uma matriz. Sua representação é dada pela Eq. (3.9) (KOLDA; BADER, 2009).

Dado um tensor \mathcal{X} e uma matriz \mathbf{U} , um produto modo- n entre ambos, segue a equação (3.9)

$$\mathcal{Y} = \mathcal{X} \times_n \mathbf{U} \iff \mathbf{Y}_{(n)} = \mathbf{U} \mathbf{X}_{(n)}. \quad (3.9)$$

Produtos matriciais de Kronecker e Khatri-Rao

Os produtos matriciais de Kronecker e Khatri-Rao são descritos, pois são necessários para a descrição do algoritmo da decomposição tensorial de Tucker.

Produto de Kronecker O produto de Kronecker (\otimes) envolve duas matrizes $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{I \times J}$ e $\mathbf{Y} \in \mathbb{R}^{K \times L}$ resultando na matriz $\mathbf{Z} \in \mathbb{R}^{IK \times JL}$, (eq. (3.10)).

$$\mathbf{X} \otimes \mathbf{Y} = \begin{pmatrix} x_{1,1}\mathbf{Y} & \dots & x_{1,J}\mathbf{Y} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{I,1}\mathbf{Y} & \dots & x_{I,J}\mathbf{Y} \end{pmatrix}. \quad (3.10)$$

em que $x_{i,j}$ é entrada da matriz \mathbf{X} , $i \in [i, I]$ e $j \in [i, J]$.

Produto de Khatri-Rao O produto de Khatri-Rao (\odot) é um caso específico do produto de Kronecker entre as colunas das matrizes de \mathbf{X} e \mathbf{Y} , resultado na matriz $\mathbf{Z} \in \mathbb{R}^{IK \times J}$.

$$\mathbf{Z} = \mathbf{X} \odot \mathbf{Y} = [\mathbf{x}_1 \otimes \mathbf{y}_1, \mathbf{x}_2 \otimes \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{x}_k \otimes \mathbf{y}_k]. \quad (3.11)$$

Produto externo tensorial O produto externo (\circ) tensorial é definido pelo produto de cada elemento de cada vetor, no qual cada índice de cada vetor define um índice de uma dimensão específica. A representação do produto externo pode ser vista na eq. (3.12) (KOLDA; BADER, 2009)(CICHOCKI *et al.*, 2009)(CICHOCKI *et al.*, 2014).

$$x_{i_1, i_2, \dots, i_N} = a_{i_1, 1}^{(1)} a_{i_2, 2}^{(2)} \dots a_{i_N, N}^{(N)}, 1 \leq i_n \leq I_n. \quad (3.12)$$

Rank de um Tensor

O conceito de *rank* é usualmente explorado para tensores de ordem dois, ou seja, matrizes cujo número máximo de vetores linha ou coluna independentes que a compõem definem o seu *rank* (SMILDE; BRO; GELADI, 2004). De outro lado, é possível representar um tensor pela soma de tensores de *rank* um.

Tensor de Rank-1 Um tensor (\mathcal{X}) de *rank*-1 pode ser escrito como resultado do produto externo entre vetores de diferentes dimensões, como mostrado na Eq.(3.13), em que $\mathcal{X} \in \mathbb{R}^{I_1 \times I_2 \times \dots \times I_N}$ possui ordem N , $\mathbf{a}_n \in \mathbb{R}^{n \times 1}$, $n = 1, \dots, N$ são os diferentes vetores que compõem o tensor pelo produto (SMILDE; BRO; GELADI, 2004)(CICHOCKI *et al.*, 2009)(KOLDA;

BADER, 2009)(CICHOCKI *et al.*, 2014).

$$\mathcal{X} = \mathbf{a}^{(1)} \circ \mathbf{a}^{(2)} \circ \dots \circ \mathbf{a}^{(N)} \quad (3.13)$$

Rank para tensores de ordem 3 Dado um tensor $\mathcal{X} \in \mathbb{R}^{P \times Q \times R}$, é possível mostrar que o *rank* ρ segue as seguintes relações (3.14) e (3.15)

$$\text{se : } P \leq QR; Q \leq PR; R \leq PQ, \quad (3.14)$$

$$\text{então : } \max(P, Q, R) \leq \rho \leq \min(PQ, QR, PR). \quad (3.15)$$

3.2.2 Modelos de Decomposição Tensoriais

A seguir, os modelos Tucker3 e PARAFAC são apresentados. A escolha do modelo PARAFAC se deu por conta da utilização dessa decomposição em trabalhos no contexto educational, que utilizam uma estrutura de dados similar (VASCONCELOS *et al.*, 2013). O modelo Tucker3 foi escolhido por se tratar de uma decomposição mais generalista e também foi apontado como perspectivas futuras por (VASCONCELOS *et al.*, 2013).

Modelo PARAFAC

No ano de 1927, Hitchcock propôs a idéia da fatorização de um tensor em uma soma de tensores de *rank*-1, e tal conceito só se tornou popular com a aplicação do modelo em problemas da psicometria com o nome de *Canonical Decomposition* (CANDECOMP) e *Parallel Factors* (PARAFAC) propostos por Carroll & Chang e Harshman, respectivamente (KOLDA; BADER, 2009). Por se tratar de um termo mais difundido na comunidade científica, utiliza-se nesta tese a terminologia PARAFAC.

A modelo PARAFAC decompõe um tensor em um somatório de tensores de *rank*-1. Dado um tensor $\mathcal{X} \in \mathbb{R}^{I \times J \times K}$, a decomposição desse tensor em um somatório de tensores de *rank*-um pode ser escrita como

$$\mathcal{X} \approx \sum_{r=1}^R \mathbf{a}_r \circ \mathbf{b}_r \circ \mathbf{c}_r, \quad (3.16)$$

em que R é o número de componentes do modelo e $\mathbf{a}_r \in \mathbb{R}^I$, $\mathbf{b}_r \in \mathbb{R}^J$ e $\mathbf{c}_r \in \mathbb{R}^K$. A Figura 3.2.3 representa o comportamento do somatório ao longo das R componentes extraídas pelo modelo.

Uma outra forma de descrever o modelo PARAFAC usa o conceito de produto modal, visto na Seção 3.2.1. Então, a decomposição PARAFAC também pode ser escrita da seguinte forma

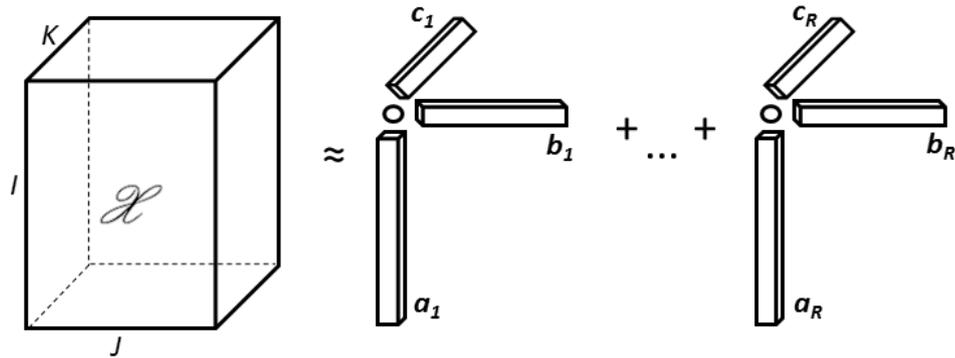


Figura 3.2.3: Representação pictográfica da decomposição PARAFAC como somatório de tensores de *rank-1*.

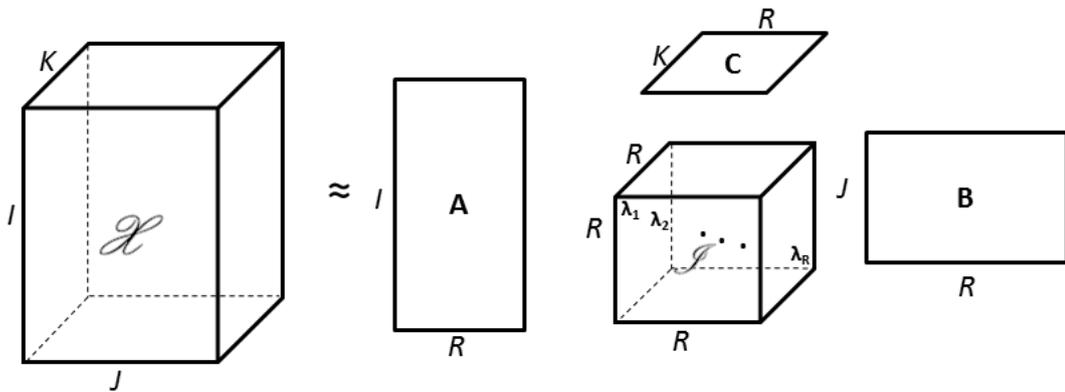


Figura 3.2.4: Representação pictórica da decomposição PARAFAC com uso das matrizes fatores e do tensor núcleo.

$$\mathcal{H} \approx \mathcal{I} \times_1 \mathbf{A} \times_2 \mathbf{B} \times_3 \mathbf{C}. \quad (3.17)$$

em que o tensor $\mathcal{I} \in \mathbb{R}^{R \times R \times R}$ é denominado tensor núcleo, tendo duas principais características atreladas ao seu comportamento: 1. Ele é um tensor supersimétrico, ou seja, tem um formato cúbico com todas as arestas de mesma dimensão; e 2. É um tensor superdiagonal, onde apenas os elementos da diagonal principal do tensor são diferentes de zero, conforme é ilustrado na Figura 3.2.4 ($\lambda_r \neq 0$ para $r = 1, \dots, R$) (KOLDA; BADER, 2009).

No modelo PARAFAC, as matriciações $\mathbf{X}_{(1)} \in \mathbb{R}^{I \times JK}$, $\mathbf{X}_{(2)} \in \mathbb{R}^{J \times IK}$ e $\mathbf{X}_{(3)} \in \mathbb{R}^{K \times IJ}$ do tensor \mathcal{H} são dadas por (SMILDE; BRO; GELADI, 2004):

$$\mathbf{X}_{(1)} \approx \mathbf{A}(\mathbf{C} \odot \mathbf{B})^T \in \mathbb{R}^{I \times JK}, \quad (3.18)$$

$$\mathbf{X}_{(2)} \approx \mathbf{B}(\mathbf{C} \odot \mathbf{A})^T \in \mathbb{R}^{J \times IK}, \quad (3.19)$$

$$\mathbf{X}_{(3)} \approx \mathbf{C}(\mathbf{B} \odot \mathbf{A})^T \in \mathbb{R}^{K \times IJ}, \quad (3.20)$$

em que $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{I \times P}$, $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{J \times Q}$ e $\mathbf{C} \in \mathbb{R}^{K \times R}$ são as matrizes fatores que contém as respectivas R componentes do modelo PARAFAC.

ALS-PARAFAC O modelo PARAFAC pode ser calculado com o uso de um algoritmo de aproximação dos dados estimados via mínimos quadrados alternados (do inglês *Alternating Least Square* - ALS). O ALS verifica, a partir de uma função custo (Eq. 3.21), o ajuste dos dados gerados pela decomposição em relação aos dados originais.

$$f_{custo} = \|\mathbf{X}_1 - \hat{\mathbf{A}}(\hat{\mathbf{C}} \odot \hat{\mathbf{B}})^T\|_F^2. \quad (3.21)$$

Como a Eq. 3.21 é uma função não-linear em relação aos parâmetros de interesse $\hat{\mathbf{A}}$, $\hat{\mathbf{B}}$ e $\hat{\mathbf{C}}$, sua solução é obtida utilizando o método ALS (SMILDE; BRO; GELADI, 2004). Nesse método, em cada etapa do algoritmo, as matrizes de interesse são obtidas a partir dos valores estimados em iterações anteriores.

O algoritmo a seguir, implementado a partir do pseudocódigo em apêndice (B.2), descreve uma forma de obter as matrizes fatores estimadas $\hat{\mathbf{A}}$, $\hat{\mathbf{B}}$ e $\hat{\mathbf{C}}$ da decomposição PARAFAC a partir do tensor de dados $\mathcal{X} \in \mathbb{R}^{I \times J \times K}$ de acordo com (KOLDA; BADER, 2009):

1. Inicialize as matrizes fatores $\hat{\mathbf{B}}$ e $\hat{\mathbf{C}}$ de forma aleatória (ou pseudo-aleatória).
2. $\hat{\mathbf{A}} = \mathbf{X}_{(1)} \left[\left(\hat{\mathbf{C}} \odot \hat{\mathbf{B}} \right)^T \right]^\dagger$.
3. $\hat{\mathbf{B}} = \mathbf{X}_{(2)} \left[\left(\hat{\mathbf{C}} \odot \hat{\mathbf{A}} \right)^T \right]^\dagger$.
4. $\hat{\mathbf{C}} = \mathbf{X}_{(3)} \left[\left(\hat{\mathbf{B}} \odot \hat{\mathbf{A}} \right)^T \right]^\dagger$.
5. Verifica-se o erro obtido pelo ajuste do modelo através da f_{custo} , se ele estiver suficientemente baixo então encerra-se o processo senão volte ao passo 2.

A convergência do algoritmo ALS-PARAFAC é alcançada quando a diferença entre o tensor de dados original e sua versão reconstruída $\hat{\mathbf{X}}_1 = \hat{\mathbf{A}}(\hat{\mathbf{C}} \odot \hat{\mathbf{B}})$ não varia consideravelmente entre duas iterações sucessivas. No decorrer deste trabalho, a convergência do algoritmo ALS-PARAFAC é assumida quando o erro de reconstrução é menor que 10^{-4} .

Aplicações do Modelo PARAFAC As aplicações do modelo PARAFAC tiveram início na década de 70, na psicometria (KROONENBERG, 2008). Embora o modelo tenha sido aplicado em um contexto bem específico da psicologia, outros ramos apresentaram resultados bem sucedidos na utilização do PARAFAC, algumas áreas são destacadas abaixo:

- Quimiometria (SMILDE; BRO; GELADI, 2004)
- Neurociencia (CICHOCKI *et al.*, 2009)
- Mineração de dados (ACAR *et al.*, 2005) (ACAR; AMTEGE; YENER, 2006)
- Compressão e classificação de imagens (SHASHUA; LEVIN, 2001)
- Processamento de sinais e arranjos de sensores (SIDIROPOULOS; BRO; GIANNAKIS, 2000)
- Sistemas de comunicação (SIDIROPOULOS; GIANNAKIS; BRO, 2000) (DE LATHAUWER; CASTAING, 2007)

Modelo Tucker3

A decomposição Tucker3 foi desenvolvida por Ledyard R. Tucker na década de 1960 (TUCKER, 1966), servindo como um modelo geral de decomposição tensorial, que deu origem ao desenvolvimento de novos modelos de decomposição que incorporam algumas de suas características. Esta decomposição é chamada por alguns autores como uma generalização para ordem superior do modelo PCA (KOLDA; BADER, 2009).

A representação da constituição de um tensor de dados $\mathcal{X} \in \mathbb{R}^{I \times J \times K}$ por meio da decomposição de Tucker3 é descrita por

$$\mathcal{X} \approx \mathcal{G} \times_1 \mathbf{A} \times_2 \mathbf{B} \times_3 \mathbf{C}, \quad (3.22)$$

em que $\mathcal{G} \in \mathbb{R}^{P \times Q \times R}$ é denominado tensor núcleo, e seus elementos descrevem os níveis de interação entre as componentes das matrizes $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{I \times P}$, $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{J \times Q}$ e $\mathbf{C} \in \mathbb{R}^{K \times R}$. Nesse caso, P , Q e R representam o número de componentes referentes aos modos 1, 2 e 3, respectivamente. A Figura 3.2.5 mostra uma representação pictórica da decomposição Tucker3.

Observação: Note que a decomposição PARAFAC, descrita na Eq. 3.17, pode ser vista como um caso particular da decomposição Tucker3, em que o tensor núcleo \mathcal{G} é superdiagonal e $P = Q = R$.

No modelo Tucker, as formas matriciadas $\mathbf{X}_{(1)} \in \mathbb{R}^{I \times JK}$, $\mathbf{X}_{(2)} \in \mathbb{R}^{J \times IK}$ e $\mathbf{X}_{(3)} \in \mathbb{R}^{K \times IJ}$ do tensor \mathcal{X} são dadas por (SMILDE; BRO; GELADI, 2004).

$$\mathbf{X}_{(1)} \approx \mathbf{A} \mathbf{G}_{(1)} (\mathbf{C} \otimes \mathbf{B})^T, \quad (3.23)$$

$$\mathbf{X}_{(2)} \approx \mathbf{B} \mathbf{G}_{(2)} (\mathbf{C} \otimes \mathbf{A})^T, \quad (3.24)$$

$$\mathbf{X}_{(3)} \approx \mathbf{C} \mathbf{G}_{(3)} (\mathbf{B} \otimes \mathbf{A})^T, \quad (3.25)$$

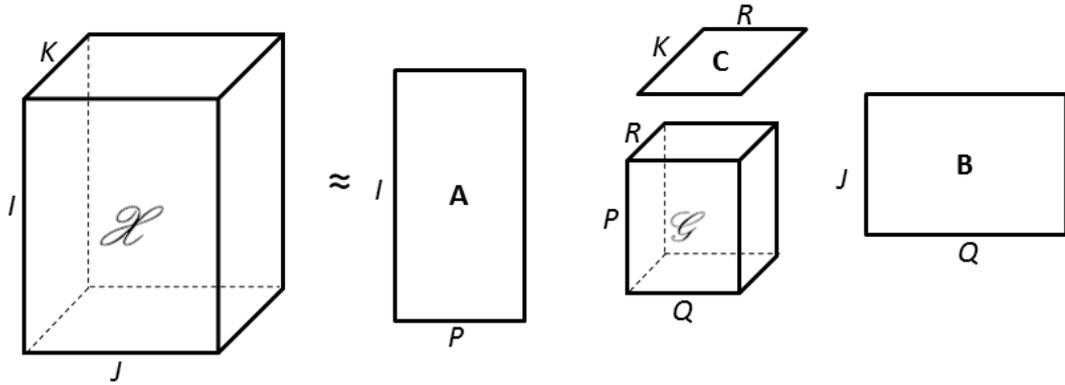


Figura 3.2.5: Representação pictórica da decomposição Tucker3

em que $\mathbf{G}_{(1)} \in \mathbb{R}^{P \times QR}$, $\mathbf{G}_{(2)} \in \mathbb{R}^{Q \times PR}$ e $\mathbf{G}_{(3)} \in \mathbb{R}^{R \times PQ}$ são as formas matriciadas do tensor núcleo \mathcal{G} nos modos 1, 2 e 3, respectivamente.

Algoritmo da decomposição Tucker3 A principal idéia do algoritmo de decomposição Tucker3 é a obtenção de componentes que melhor representam a variação do modo n , independente da variação dos outros modos. O pseudocódigo da decomposição Tucker3 pode ser consultado no apêndice B.3.

A partir da função custo (Eq. 3.26), pode-se impor que \mathbf{A} , \mathbf{B} e \mathbf{C} são ortogonais sem perda de generalidade. Neste sentido, o espaço de \mathcal{X} está no range de $\mathfrak{R}(\mathbf{A})$, $\mathfrak{R}(\mathbf{B})$ e $\mathfrak{R}(\mathbf{C})$, respeitando as relações entre os modos relacionados a cada uma das matrizes (SMILDE; BRO; GELADI, 2004). Dessa forma, o cálculo da decomposição Tucker3 pode ser dada a partir de uma solução "fechada" (do inglês *closed form solution*) (SMILDE; BRO; GELADI, 2004).

$$\min_{\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathcal{G}} \|\mathbf{X}_i - \mathbf{A} \mathbf{G}_{(i)} (\mathbf{C} \otimes \mathbf{B})^T\|^2, i = 1, 2, 3, \dots \quad (3.26)$$

Segundo (SMILDE; BRO; GELADI, 2004), as matrizes fatores estimadas $\hat{\mathbf{A}} \in \mathbb{R}^{I \times P}$, $\hat{\mathbf{B}} \in \mathbb{R}^{J \times Q}$ e $\hat{\mathbf{C}} \in \mathbb{R}^{K \times R}$ da decomposição Tucker3, com restrições de ortogonalidade, são obtidas pela aplicação da decomposição em valores singulares (do inglês *Singular Values Decomposition - SVD*) em cada forma matriciada de $\mathcal{X} \in \mathbb{R}^{I \times J \times K}$, conforme apresentado a seguir.

1. $\hat{\mathbf{A}}$ é igual P vetores singulares a esquerda de $X_{(I \times JK)}$,
2. $\hat{\mathbf{B}}$ é igual Q vetores singulares a esquerda de $X_{(J \times IK)}$,
3. $\hat{\mathbf{C}}$ é igual R vetores singulares a esquerda de $X_{(K \times IJ)}$,
4. $\mathcal{G} = \mathcal{X} \times_1 \hat{\mathbf{A}}^T \times_2 \hat{\mathbf{B}}^T \times_3 \hat{\mathbf{C}}^T$.

É importante salientar que, neste estudo, o número de componentes P , Q e R é obtido através do cálculo da variância explicada dos valores singulares obtidos a partir aplicação da SVD nas formas matriciadas do tensor \mathcal{X} .

Aplicações do Modelo Tucker3 Muitos pesquisadores encontraram uma aplicabilidade prática e eficiente para a decomposição Tucker3. As áreas que mais se destacaram na aplicação desse modelo são: quimiometria (SMILDE; BRO; GELADI, 2004), psicometria (KROONENBERG, 2008), processamento de sinais (DE LATHAUWER; VANDEWALLE, 2004), computação visual (VASILESCU; TERZOPOULOS, 2002), dentre outras.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa ora relatada teve como primeiro passo identificar a visão apresentada por professores de seis cursos de engenharia e do curso de sistemas e mídias digitais da UFC, no *campus* do Pici em Fortaleza. Os professores responderam a uma enquete sobre os procedimentos de gestão do ensino superior em cada curso.

Buscou-se trabalhar na perspectiva de estabelecer uma relação entre os métodos ou ações de gestão e os conceitos ou notas ou indicadores, alcançados pelos devidos cursos em avaliações de cunho externo. A análise se deu por meio de ferramentas de análise matricial e tensorial. A seguir apresenta-se o contexto do estudo.

4.1 Contexto e Amostra

A Universidade Federal do Ceará (UFC), criada pela Lei Federal nº 2.373 de 16/12/1954, esta tendo sua publicação em 23/12/1954, é uma autarquia federal de regime especial, vinculada a estrutura governamental por meio do Ministério da Educação (MEC). O Regimento e o Estatuto em vigor foram instituídos pela Portaria MEC nº 2.777 de 27/09/2002, publicada em 30/09/2002.

Esta Instituição, localizada no semiárido nordestino, tendo sua sede na cidade de Fortaleza, capital de estado do Ceará, tem sua origem vinculada a um amplo movimento de opinião pública. Inicialmente foi formada pela união de instituições que funcionavam isoladamente são elas: Escola de Agronomia, Faculdade de Direito, Faculdade de Medicina e Faculdade de Farmácia e Odontologia.

Atualmente, estende sua atuação nas mais diversas áreas do conhecimento, nas três grandes missões da universidade: Ensino, Pesquisa e Extensão, distribuídos em seis *campi*:

- *Campus* do Benfica, em Fortaleza;
- *Campus* do Pici, em Fortaleza;
- *Campus* do Porangabussu, em Fortaleza;

- *Campus* Avançado de Sobral;
- *Campus* Avançado do Cariri;
- *Campus* Avançado Quixadá.

Durante muito tempo, foi a única universidade federal do Estado, contudo, a expansão do ensino superior fez com que este fosse disseminado para o interior do estado, sendo criadas duas outras universidades federais: a Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) com sede na cidade Redenção, Ceará; e a Universidade Federal do Cariri (UFCA) com Sede na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará.

A UFC tem como finalidade e missão:

Formar profissionais éticos da mais alta qualificação, gerar e difundir conhecimentos, preservar e divulgar os valores artísticos e culturais, constituindo-se em instituição estratégica para o desenvolvimento do Ceará e do Nordeste (UFC, 2014).

Quanto às normas de funcionamento interno, há as:

Normas que estabelecem a Estrutura Orgânica e Normas Regimentais Constantes no Regimento Interno e no Estatuto Geral (aprovado pelo Conselho Universitário nas sessões de 18, 21 e 22/12/1998 e pelo Ministério da Educação e do Desporto sob a Portaria nº 592, de 23/03/1999). Publicação no DOU do Estatuto do órgão: 26/03/1999. (UFC, 2014)

O destaque feito à missão é, sobretudo pelo fato da UFC ser uma enquanto instituição socialmente responsável, formar profissionais da mais alta qualificação, demonstrando que a pesquisa aqui relatada, pode contribuir com esta IES, a medida que busca fornecer subsídios para a intervenção no sentido de elevar o nível de qualidade da formação oferecida pela instituição.

Atualmente, a UFC, tem com 18 unidades acadêmicas sendo quatro centros, cinco faculdades, quatro institutos e cinco *Campi* no interior. As unidades são (UFC, 2014):

Centros:

- Centro de Ciências
- Centro de Humanidades
- Centro de Tecnologia

- Centro de Ciências Agrárias

Faculdades:

- Faculdade de Medicina
- Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem
- Faculdade de Direito
- Faculdade de Educação
- Faculdade de Economia, Administração, Atuariais, Contabilidade e Secretariado Executivo

Institutos:

- Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR)
- Instituto de Cultura e Arte (ICA)
- Instituto de Educação Física e Esportes (IEFES)
- Instituto Universidade Virtual (UFC Virtual)

Campi no interior:

- Campus da UFC em Sobral.
- Campus da UFC no Cariri.
- Campus da UFC em Quixadá.
- Campus da UFC de Russas.
- Campus da UFC de Crateús.

Toda a estrutura apresentada, encontra-se a serviço da comunidade, no documento (UFC, 2014), são apresentados dados que mostram essa atuação em séries históricas desde 2003 até 2013, contudo são usados os números de 2013. As unidades acadêmicas ofertaram, em 2013, 114 cursos presenciais (63 Bacharelados Integral; 16 Bacharelados Noturno; um Bacharelado Vespertino; 18 Licenciaturas Plenas Integral; 12 Licenciaturas Plenas Nortuno; três Tecnólogos Noturno; e uma Área Base de Ingresso); Cursos a distância (nove cursos semi-presenciais), em um total de 30 pólos de apoio em todo o interior do estado. Em 2013, a matrícula é de 26.782 alunos nos cursos presenciais e 3.711 matrículas em cursos semipresenciais.

Quanto a sua classificação dentro e fora do País, a instituição encontra-se em 2^o lugar no Nordeste, 15^o, no Brasil, 23^o na América Latina e Caribe, bem como 48^o, no *Ranking* das 100 universidades Ibero-americanas em 2013. Quanto aos indicadores externos a UFC possui um

Índice Geral de Curso IGC Contínuo no valor de 3,5232 e IGC igual a quatro, em um escala que vai até cinco.

Vale ressaltar que, seguindo uma tentência nacional, a UFC mudou, em 2011 o seu processo seletivo saindo do vestibular e passando a fazer uso do SiSU, este processo, em 2013, contou com 133.923 inscritos para um total de 6.308 vagas ofertadas. Nota-se que houve uma grande demanda por vagas, muito acima da capacidade de suprir da IES. Isto reforça a ideia de que existe uma demanda crescente pela formação em nível superior.

Outro aspecto muito importante da UFC é a sua oferta de pós-graduação. Ao todo foram matriculados 5.125 alunos em nível de *strito sensu*, sendo: 2.185 matrículas nos 41 cursos de doutorado; 2.294 matrículas nos 53 cursos de mestrado acadêmico e 646 matrículas nos cursos de Mestrado Profissional. No caso da pós-graduação *lato sensu*, foram, ainda em 2013, um total de 936 matrículas em cursos de especializações presenciais, distribuídos em 41 cursos.

A seguir, detalharemos os cursos onde foi realizada a pesquisa.

4.1.1 Os Professores e os Cursos Analisados

A pesquisa foi desenvolvida com professores de seis Cursos de graduação em Engenharia, sendo cinco vinculados ao Centro de Tecnologia e um ao Centro de Ciências Agrárias, e no curso de Sistemas e Mídias Digitais, vinculado ao Instituto UFC Virtual. Os cursos têm alguns dados que são discriminados abaixo:

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (CCA)

- Engenharia de Pesca
Bacharelado Criado pela Resolução CONSUNI/UFC nº 257 de 25.07.1972
Taxa de Sucesso em 2013: 50,0%

CENTRO DE TECNOLOGIA (CT)

- Engenharia Civil
Bacharelado Criado pela Resolução CONSUNI/UFC nº 24 de 03.01.1955
Taxa de Sucesso em 2013: 91,7%
- Engenharia de Produção Mecânica
Bacharelado Criado pela Resolução CONSUNI/UFC nº 02 de 21.09.1998
Taxa de Sucesso em 2013: 55,5%
- Engenharia de Teleinformática
Bacharelado Criado pela Resolução CONSUNI/UFC nº 05 de 13.08.2003
Taxa de Sucesso em 2013: 36,7%

- Engenharia Elétrica
Bacharelado Criado pela Resolução CONSUNI/UFC nº 290 de 19.06.1974
Taxa de Sucesso em 2013: 55,9%
- Engenharia Química
Bacharelado Criado pela Resolução CONSUNI/UFC nº 177 de 06.03.1965
Taxa de Sucesso em 2013: 52,1%

INSTITUTO UFC VIRTUAL (IUVI)

- Sistemas e Mídias Digitais
Bacharelado Criado pela Resolução CONSUNI/UFC nº 11 de 31.07.2009
Não há concluintes em 2013

Nota-se que os cursos analisados possuem datas de criação bem distintas, desde a Engenharia Civil que remete sua criação aos anos 1950, até o mais novo desta amostra que é o curso de Sitemas e Mídias Digitais que, em 2013, ainda não tinha concluintes. Isto indica possuírem trajetórias distintas, dentro da instituição.

Quanto aos indicadores externos, vejamos os índices dos cursos expostos na Tabela 1:

Tabela 1: Indicadores Externos, Fonte: *site e-MEC*

Código	Curso	UF	Município	ENADE	CPC	CC
13992	ENGENHARIA DE PESCA	CE	Fortaleza	5	4	-
13988	ENGENHARIA CIVIL	CE	Fortaleza	4	4	-
37265	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA	CE	Fortaleza	4	4	5
69190	ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA	CE	Fortaleza	3	2	4
13989	ENGENHARIA ELÉTRICA	CE	Fortaleza	4	5	-
13991	ENGENHARIA QUÍMICA	CE	Fortaleza	4	4	-
5000499	SISTEMAS E MÍDIAS DIGITAIS	CE	Fortaleza	-	-	4

Como pode ser observado, os indicadores externos encontram-se com valores elevados, exceto o curso de engenharia de teleinformática. Neste caso, foi identificado haver um equívoco no processo de cadastro do curso, o que levou aos alunos realizarem provas do ENADE em uma área distinta daquela de sua formação, resultando em um desempenho aquém do esperado. Contudo, já houve uma correção através de um procedimento de avaliação *in loco*, por parte do MEC.

4.2 Elaboração do Instrumento de Pesquisa

Para a obtenção dos dados, foi desenvolvida uma enquete, contendo 15 assertivas (ver Tabela 2. As assertivas buscam identificar ao máximo as ações a serem desenvolvidas, no

decorrer da gestão de cursos superiores, por parte das coordenações da IES, as quais focam: funções políticas (liderança, articulação, representatividade e disseminação); funções gerenciais (executivas e administrativas quanto a recursos humanos e materiais); funções acadêmicas (planejamento de diretrizes do curso bem como das atividades eletivas e complementares e seus respectivos processos de avaliação); e funções institucionais (sucesso do curso internamente e externamente, vinculação do curso aos anseios da sociedade e do mercado de trabalho) (ABMES, 2013).

Tabela 2: Enquete com as assertivas $A_i, i = 1, \dots, 15$.

N°	ASSERTIVAS
A_1	A Coordenação do curso contribui com a formação acadêmica dos alunos, acompanhando seus desempenhos e auxiliando-os quando necessário.
A_2	A Coordenação do curso contribui para que, alunos e professores, realizem o Projeto Político Pedagógico do Curso no que lhes cabe.
A_3	A Coordenação do curso estimula os alunos a participar de eventos acadêmicos (congressos científicos, reuniões tecnológicas, atividades esportivas, extensionistas e/ou artísticas, etc.).
A_4	A Coordenação do curso esclarece os alunos acerca da importância em participar do Exame Nacional de Desempenho Estudantil (ENADE).
A_5	A Coordenação do curso discute os resultados do ENADE com a comunidade interna.
A_6	A Coordenação do curso promove sistematicamente momentos de diálogos sobre a formação, o currículo e o mercado de trabalho.
A_7	A Coordenação do curso incentiva os alunos a avaliarem os professores.
A_8	A Coordenação do curso incentiva os alunos a avaliarem as disciplinas (ou módulos).
A_9	A Coordenação do curso contribui para que haja um clima acadêmico propício ao aprendizado significativo e duradouro por parte dos alunos.
A_{10}	A Coordenação adota ações cabíveis para garantir a manutenção dos equipamentos de suporte específicos (computacionais, laboratoriais, etc).
A_{11}	A Coordenação do curso procura manter o acervo bibliográfico atualizado e em condições de pleno uso por docentes e discentes.
A_{12}	A Coordenação do curso contribui para o desenvolvimento dos estágios curriculares.
A_{13}	A Coordenação do curso adota ações cabíveis para garantir a manutenção das instalações físicas utilizadas pelo curso.
A_{14}	A Coordenação do curso tem reconhecida competência acadêmica.
A_{15}	A Coordenação do curso tem reconhecida competência na gestão acadêmico-administrativa.

Quanto à enquete, o professor-respondente apontou o seu grau de concordância com a respectiva afirmação por meio de uma escala de Likert de seis alternativas, conforme valores colocados na Tabela 3 (NUNES *et al.*, 2015).

O objetivo dessa enquete foi o de fazer refletir o desenvolvimento das ações de gestão do ensino superior por parte das coordenações de curso, detalhadas anteriormente, sob a ótica dos seus professores, especialmente voltada à gestão acadêmico-administrativa. Propositamente, a disposição aleatória das afirmações procura não induzir o professor a perceber alguma classificação orientada sobre as características estruturais de suporte dos objetivos e metas

Tabela 3: Grau de concordância com a assertiva.

Grau de Concordância do Respondente	Valor a ser Atribuído para a Análise
Discordo Totalmente	1
Discordo Fortemente	2
Discordo	3
Concordo	4
Concordo Fortemente	5
Concordo Totalmente	6

dos cursos, tais como: relação ensino-aprendizagem; formação acadêmico-profissional; e os procedimentos gerenciais vinculados.

4.2.1 Aplicação do Instrumento e Coleta de Dados

A estratégia escolhida para a captação das respostas na enquete, contou com dois momentos, descritos a seguir:

- Aplicação da enquete com os cursos de engenharia, em formato virtual, em endereço eletrônico da Universidade; o *link* junto com uma breve explicação da pesquisa foi encaminhado para todos os professores que atuam nos cursos de engenharia que compõem a amostra da pesquisa. O *link* encaminhava o respondente à tela de abertura da enquete, na qual o respondente escolhia o curso a que pertencia (Ver Figura 4.2.1), logo depois de selecionar o curso o respondente era encaminhado para a enquete (Ver Figura 4.2.2);
- Aplicação da enquete impressa, no curso de Sistemas e Mídias Digitais. Cada professor recebeu um envelope contendo uma explicação sobre o trabalho e a enquete (Apêndice A).

Embora a pesquisa inicial tenha sido dimensionada para 198 professores dos cursos de engenharia, não foi alcançado o número de respondentes, pois apenas 23 professores desses cursos responderam à enquete eletrônica, totalizando, aproximadamente, 12% do universo analisado., conforme pode ser observado na Tabela 4.

No segundo momento, a enquete foi respondida por 23 professores (ver Tabela 4). Desta forma, os dados usados para as análises são compostos por 46 respostas de professores, aproximadamente 20% do público alvo.

**UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ**

Prezado Docente:
Este é um estudo sobre a qualidade da gestão dos cursos de graduação em engenharia. O estudo em questão é objeto de uma Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Telemática (PPGETI), que está sendo desenvolvida em parceria com o Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação, a fim de contribuir com o desenvolvimento dos cursos na UFC, a partir do uso de ferramentas matemáticas e estatísticas tais como a álgebra multilinear e a análise fatorial.

Para o sucesso deste estudo é fundamental haver a participação do corpo docente naturalmente implicado que poderá fornecer dados, a partir de uma enquete, a qual conta com a anuência das diretorias do Centro de Tecnologia e do Centro de Ciências Agrárias da UFC.

Nesse âmbito, sua participação é de extrema relevância, pois objetiva-se verificar a opinião docente acerca da temática supracitada, associando-a a indicadores externos de qualidade de cursos de graduação com duração plena, empregados, atualmente, pelo INEP/MEC (disponível em <http://enec.mec.gov.br>). Ressaltamos que as respostas fornecidas serão usadas unicamente com a finalidade acadêmica desta tese, preservando o total sigilo das fontes de informação.

Desde logo agradecemos as importantes contribuições para esta pesquisa.

Cordialmente, Prof. Albano Oliveira Nunes.
albanoliveira@yahoo.com.br
Doutorando – PPGETI/UFC, Nº de matrícula: 319247, Bolsista CAPES.

Selecione o curso ao qual encontra-se vinculado ou mais se identifica e responda a enquete:

ENGENHARIA CIVIL
 ENGENHARIA DE ALIMENTOS
 ENGENHARIA DE PESCA
 ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA
 ENGENHARIA DE TELEMÁTICA (DIURNO)
 ENGENHARIA ELÉTRICA
 ENGENHARIA MECÂNICA
 ENGENHARIA METALÚRGICA
 ENGENHARIA QUÍMICA

[Continuar](#)

Figura 4.2.1: Tela de abertura da pesquisa.

**UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ**

ENQUETE - ENGENHARIA CIVIL

Prezado(a) Docente: esse instrumento busca identificar elementos sob a ótica dos docentes, da prática de gestão educacional dos cursos de graduação em Engenharia do Centro de Tecnologia e do Centro de Ciências Agrárias da UFC. Esta pesquisa é realizada pelas coordenações dos cursos através dos seus coordenadores. A escolha da opção de resposta deve refletir de fato, o que ocorre no seu curso de graduação. Esclarecemos que todas as assertivas devem ser respondidas, na forma proposta, para que o sistema valide a sua participação, não havendo necessidade de sua identificação.

Cargos(a) professor(a), o(a) senhor(a) encontra-se exercendo cargo de coordenador(a) de curso ou de chefe de departamento?

Sim
 Não

A. A Coordenação do curso contribui com a formação acadêmica dos alunos, acompanhando seus desempenhos e auxiliando-os quando necessário.

Concordo totalmente
 Concordo fortemente
 Concordo
 Discordo
 Discordo fortemente
 Discordo totalmente.

B. A Coordenação do curso contribui para que, alunos e professores, realizem o Projeto Político Pedagógico do Curso no que lhes cabe.

Concordo totalmente
 Concordo fortemente
 Concordo
 Discordo
 Discordo fortemente
 Discordo totalmente.

C. A Coordenação do curso estimula os alunos a participar de eventos acadêmicos (congressos científicos, reuniões tecnológicas, atividades esportivas, extensionistas e/ou artísticas, etc.).

Concordo totalmente
 Concordo fortemente
 Concordo
 Discordo
 Discordo fortemente.

[Continuar](#)

Figura 4.2.2: Tela de abertura da enquete.

4.3 Tratamento dos Dados

Conforme destacado na seção anterior, os dois momentos da pesquisa geraram duas bases de dados com dimensões 23 avaliadores \times 15 assertivas. A partir da estrutura de dados gerada, existem algumas formas de organização dos mesmos, o que permite certa flexibilidade no manuseio dessas bases.

Torna-se importante destacar que as estruturas de dados geradas possibilitam a aplicação de modelos de decomposições matriciais e tensoriais, conforme apresentados no Capítulo 3. Tal aplicação vai ao encontro dos objetivos específicos desta pesquisa (Seção 1.4.2).

Tabela 4: Detalhamento quantitativo dos professores respondentes por curso.

N°	Curso/Unidade	Número de Professores Respondentes
01	Engenharia de Teleinformática/CT	11
02	Engenharia Elétrica/CT	3
03	Engenharia Química/CT	3
04	Engenharia de Produção Mecânica/CT	3
05	Engenharia de Pesca/CCA	2
06	Engenharia Civil/CT	1
07	Sistemas e Mídias Digitais/IUVI	23

Dessa forma, primeiramente, os dados foram organizados na forma de um tensor (Figura 4.3.1(a)) para que a análise tensorial pudesse ser realizada. Em seguida, os dados do tensor foram matriciados pela correspondência existente entre as assertivas, conforme pode ser observado na Figura 4.3.1(b).

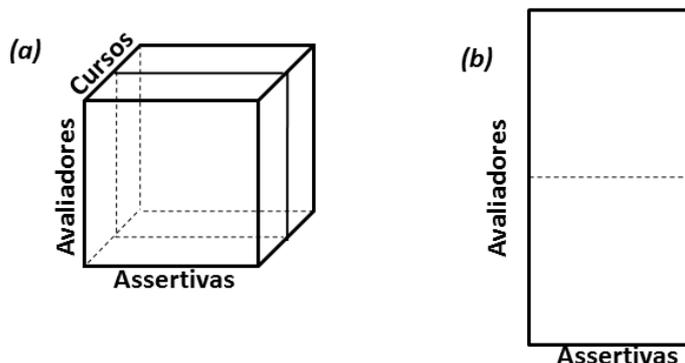


Figura 4.3.1: (a) Estrutura de dados tridimensional (tensor) de dimensões 23 avaliadores \times 15 assertivas \times 2 cursos; (b) Matriciação dos dados pela concatenação das fatias relacionadas ao tipo de curso com dimensões 15 assertivas \times 46 avaliadores.

A dimensão "Cursos", presente na Figura 4.3.1(a), está relacionada ao tipo de curso que foi avaliado pelos professores-respondentes da enquete, ou seja, foram obtidas informações relacionadas a cursos de engenharia e ao curso de Sistemas e Mídias Digitais.

Para a análise das bases de dados, foram utilizados os *softwares* *MATrix LABORatory* (MATLAB[®]) e *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS[®]). Para a geração de gráficos utilizou-se o *software* OriginPro[®]. Na seção seguinte, as ferramentas computacionais utilizadas nesta pesquisa são descritas.

Ferramentas Computacionais Utilizadas

- *MATrix LABORatory* (MATLAB)

Segundo (GILAT, 2006), o MATLAB é uma linguagem poderosa em termos de computação técnica, isso devido ao fato de fazer uso de uma base operacional apoiada em matrizes de alocação de informações e posterior processamento das mesmas. Esta ferramenta é bastante utilizada por engenheiros e cientistas de uma forma geral, por ter uma plataforma amigável e alto poder de processamento numérico.

O uso do MATLAB, no contexto específico, deve-se ainda ao fato dele apresentar funções já implementadas, entre elas os recursos relacionados ao desenho dos dados e também à possibilidade de implementação de outras operações, quando necessárias, com técnicas de programação computacional indo desde o básico (médias, desvios, etc) até um nível mais avançado (possibilidade de uso de laços de processamento de vários tipos).

- *Statistical Package for Sciences (SPSS)*

O pacote estatístico *Statistical Package for Social Sciences (SPSS)* é o mais utilizado no Brasil quando se necessita de suporte estatístico para as ciências sociais e humanas (BISQUERRA; SARRIERA; MARTÍNEZ, 2004), apresentando uma grande frequência de citação em artigos científicos da área. Este uso deve-se ao fato de possuir muitas funções necessárias à análise de dados da área de forma simples.

Constituindo-se em um *software* científico aplicado, o SPSS possui uma interface amigável com diversas funções estatísticas que podem ser usadas para análises de dados tanto do ponto de vista univariado como também multivariado. Dentre as várias funções que executa pode-se citar: contagem de frequências em nuvens de dados, correlações entre variáveis com o objetivo de reduzir sua dimensionalidade, sendo esta última utilizada nesse trabalho com uso das técnicas Análise de Componentes Principais.

- *OriginPro 8*

O OriginPro 8 é um programa gráfico para o processamento e análise estatística de dados desenvolvido pela *OriginLab Corporation* para execução em plataforma Windows. O programa importa dados de instrumentos de medida, processa-os estatisticamente, tais como estatística descritiva e regressão, ajusta os dados experimentais de modo a evidenciar as características do fenômeno observado (integral, filtro de ruídos, linha de base) e procura a melhor curva que representa os dados coletados (ORIGINLAB, 2007).

O programa foi utilizado neste trabalho para desenho de curvas dos resultados da análise dos dados, devido à necessidade de os gráficos fornecessem a visualização 2D, 3D e vários gráficos do tipo *Scree*, e na análise de várias variáveis de forma simultânea. Esses recursos fazem desse programa muito útil em publicações técnicas e científicas.

5 ANÁLISE, DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1 Estatística Descritiva

Para a análise descritiva discutem-se os dados da seguinte forma:

- Base formada pela matriz das 23 respostas dadas pelos professores dos cursos das engenharias, a qual tem dimensões (23×15) , e que se chama B_1 (ver Apêndice C.1);
- Base formada pela matriz das 23 respostas dadas pelos professores do curso de sistemas e mídias digitais, a qual tem dimensões (23×15) , e que se chama B_2 (ver Apêndice C.2);
- Base formada pela matriz das 46 respostas dadas pelos professores dos 2 momentos de aplicação, a qual tem dimensões (46×15) , e que se chama B_3 (concatenação de B_1 e B_2);

Os histogramas a seguir, aos quais apresentam os valores das médias em cada uma das variâncias e desvios-padrões decorrentes da aplicação nas três bases.

5.1.1 Valores de Médias

Como se pode ver, as médias indicam uma tendência de avaliação positiva, por parte dos professores, já que a menor média atingida foi de aproximadamente 3,2 na assertiva de número cinco A_5 , da Figura 5.1.1 (B_1). No caso de B_2 , a assertiva A_5 também é a de menor média com um valor pouco superior a 4,0. Esta assertiva trata da discussão dos resultados obtidos no ENADE com o corpo discente. Isto indica para que, segundo a visão dos professores, esses resultados não estão sendo discutidos da forma que deveriam, já que o valor está um pouco acima da resposta menos negativa "discordo" que tem valor igual a 3,0 em B_1 e média pouco superior a 4,0 em B_2 . Isto também aparece em B_3 , onde esta mesma assertiva é a de valor mais baixo aproximadamente 3,6

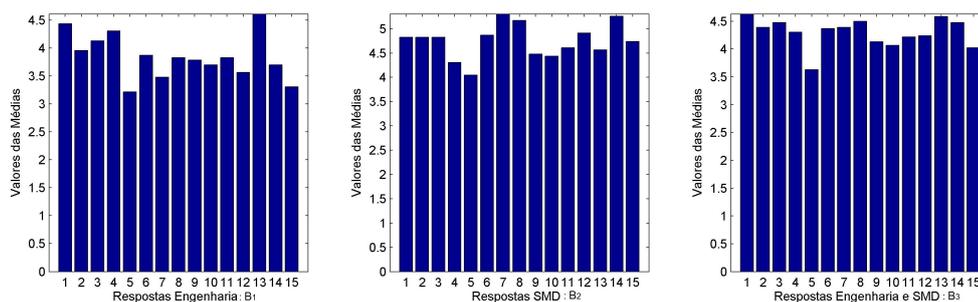


Figura 5.1.1: Histograma das médias das respostas nas 3 bases.

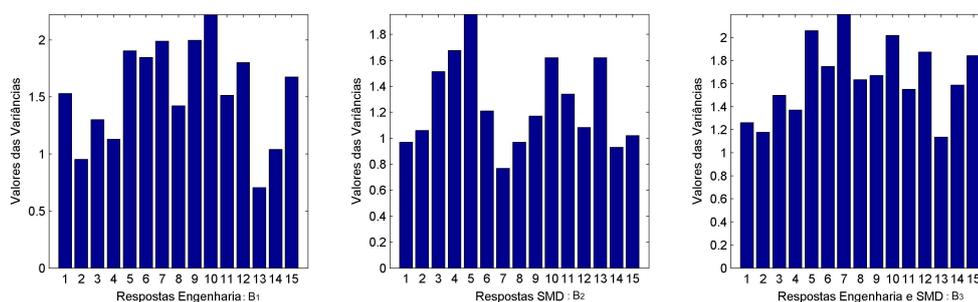


Figura 5.1.2: Histograma das variâncias das respostas nas 3 bases.

Por outro lado, a maior média atingida foi de aproximadamente 5,3, na Assertiva A_7 , em B_1 , assertiva que trata do incentivo à avaliação dos professores por parte da Coordenação, esta atingiu valor superior ao conceito "Concordo Fortemente". Isto aponta que os professores analisam que há este estímulo. Por outro lado, a assertiva com maior média, em B_1 foi para a assertiva A_{13} , com valor maior que 4,6, ou seja, não alcançando o conceito "concordo fortemente", sendo que o item melhor avaliado diz respeito a providências, por parte da coordenação, quanto à manutenção das instalações do curso.

Quando analisado B_3 , a maior média ficou com a assertiva A_1 , a qual faz referência à contribuição da coordenação do curso para a formação acadêmica dos alunos, no que diz respeito ao acompanhamento e auxílio nos aspectos relacionados ao seu desempenho. Ainda quanto às médias da Figura 5.1.1, estas se apresentam, em sua grande maioria, com valores próximos ou superiores do conceito "concordo", indicando uma tendência positiva quanto às ações realizadas pelas coordenações no exercício da gestão dos cursos.

5.1.2 Análise Relativa das Dispersões

Relação das Afirmações da Enquete e as distribuições de incidência das respostas em cada um dos bancos de dados

A seguir é feita uma análise da maior incidência de concordâncias, por assertiva, dos conjuntos de dados B_1 , B_2 e B_3 .

A₁. A Coordenação do curso contribui com a formação acadêmica dos alunos, acompanhando seus desempenhos e auxiliando-os quando necessário **Figura 5.1.3.**

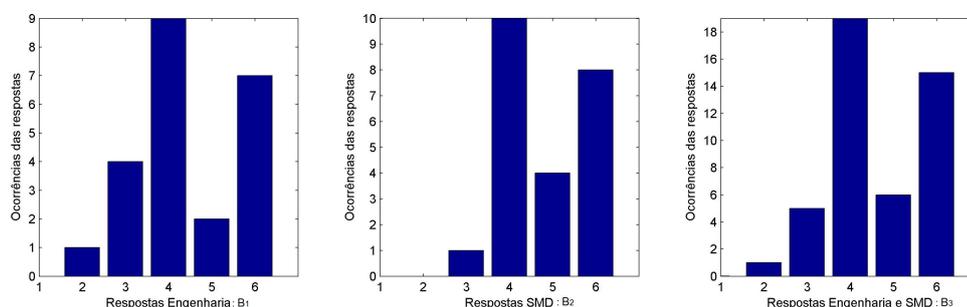


Figura 5.1.3: Histograma da incidência de respostas na Questão A₁.

Nesta assertiva verificou-se que o maior número de respondentes declarou acordar com a afirmativa, isto tanto para B_1 como para B_2 . Por outro lado, o conceito que nenhum respondente apontou foi quanto a estar totalmente discordante da afirmação. Assim no geral para essa assertiva, a maioria dos respondentes apontou conceitos positivos (Figura 5.1.3).

A₂. A Coordenação do curso contribui para que, alunos e professores, realizem o Projeto Político Pedagógico do Curso no que lhes cabe (Figura 5.1.4).

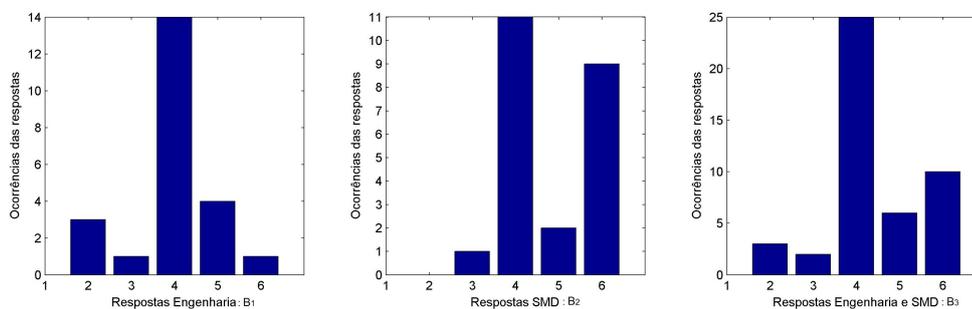


Figura 5.1.4: Histograma da incidência de respostas na Questão A₂.

Assim como na assertiva anterior, o maior número de respondentes declarou, concordar com a afirmativa, tanto para B_1 como para B_2 . E também, o conceito que nenhum respondente apontou foi quanto a estar totalmente discordante da afirmação. Assim, no geral, para essa assertiva a maioria dos respondentes apontou conceitos positivos (ver Figura 5.1.4).

A₃. A Coordenação do curso estimula os alunos a participar de eventos acadêmicos (congressos científicos, reuniões tecnológicas, atividades esportivas, extensionistas e/ou artísticas, etc (Figura 5.1.5).

Nesta assertiva verifica-se uma divergência entre os números das engenharias e do curso de SMD. Em B_1 os professores responderam o conceito 4 com maior intensidade e os demais estão distribuídos de forma equilibrada. Já em B_2 o conceito mais recorrente foi o 6, mostrando que os professores das engenharias possuem um grau moderado de concordância quanto à atividade

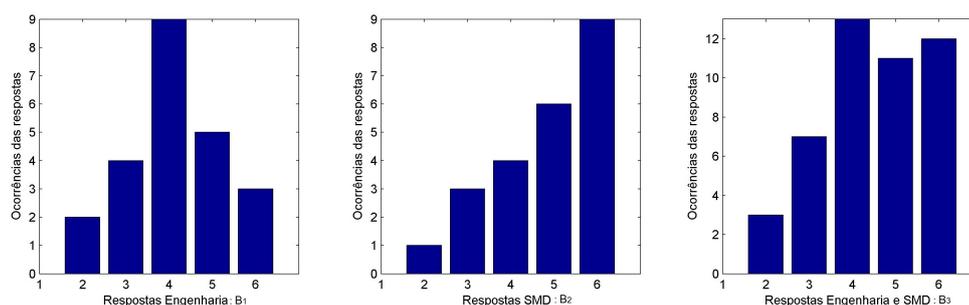


Figura 5.1.5: Histograma da incidência de respostas na Questão A_3 .

de envolvimento dos alunos em atividades diversas. Por outro lado, na segunda análise, os professores apontaram os conceitos 5 e 6 com maior intensidade (Figura 5.1.5).

A₄. A Coordenação do curso esclarece os alunos acerca da importância em participar do Exame Nacional de Desempenho Estudantil (Figura 5.1.6).

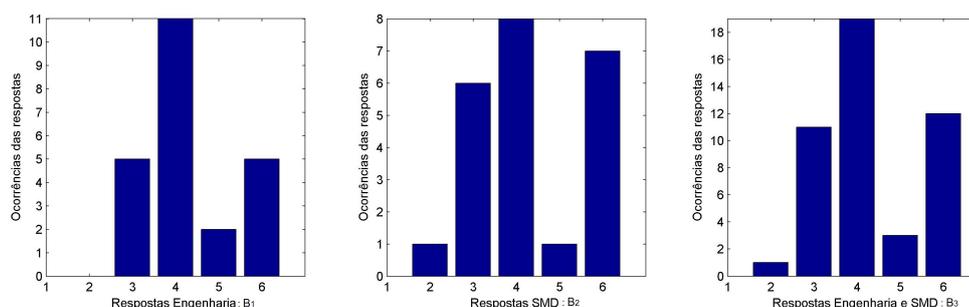


Figura 5.1.6: Histograma da incidência de respostas na Questão A_4 .

A assertiva A_4 , no caso de B_2 , que trata sobre possíveis esclarecimentos quanto ao ENADE, o conceito mais apontado foi o 4, com tendência para o fluxo positivo da escala, . Já em B_2 , também existe uma maior incidência de 4, sendo que os demais conceitos se apresentam de forma mais equilibrada. No conjunto B_1 , temos cursos mais antigos, com participação maior em avaliações do ENADE, o mesmo não ocorre no segundo caso, por se tratar de um curso novo, sem egressos até o momento da aplicação da enquete.

A₅. A Coordenação do curso discute os resultados do ENADE com a comunidade interna (Figura 5.1.7).

Nesta assertiva verifica-se que o maior número de respondentes declarou discordar da afirmativa, isto tanto para B_1 como para B_2 . Assim, no geral, essa Assertiva mostrou que uma ligeira maioria dos respondentes apontou conceitos negativos (Figura 5.1.7).

A₆. A Coordenação do curso promove sistematicamente momentos de diálogos sobre a formação, o currículo e o mercado de trabalho (Figura 5.1.8).

Na assertiva A_6 , para o caso de B_1 , verifica-se que o maior número de respondentes também declarou estar de acordo com a afirmativa, e as demais distribuídas levemente para o sentido

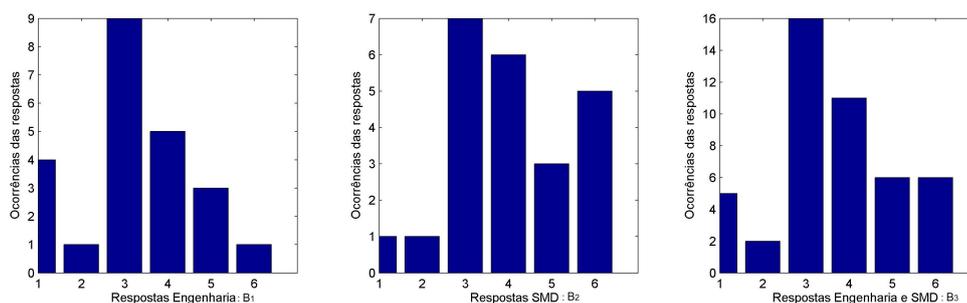


Figura 5.1.7: Histograma da incidência de respostas na Questão A₅.

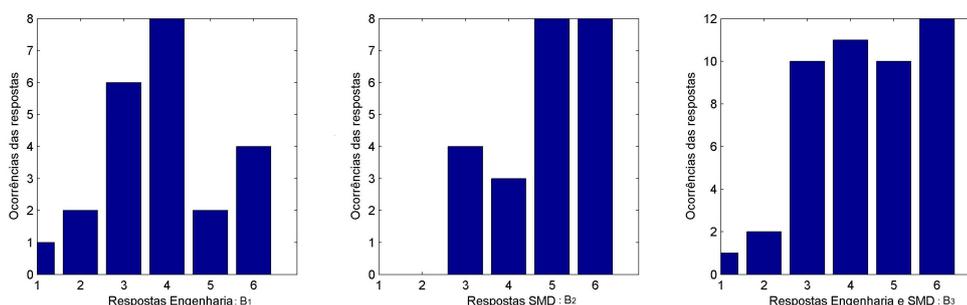


Figura 5.1.8: Histograma da incidência de respostas na Questão A₆.

negativo. No caso de B_2 , a maioria das respostas tem conceito 5 e 6, algumas 3 e 4, e não houve respostas nos conceitos 1 e 2. Assim, a assertiva mostrou-se medianamente distribuída em B_1 , por outro lado em B_2 com forte tendência positiva, quando se trata de assuntos relacionados aos diálogos promovidos em torno da formação, currículo e mercado de trabalho (Figura 5.1.8).

A₇. A Coordenação do curso incentiva os alunos a avaliarem os professores. Figura 5.1.9.

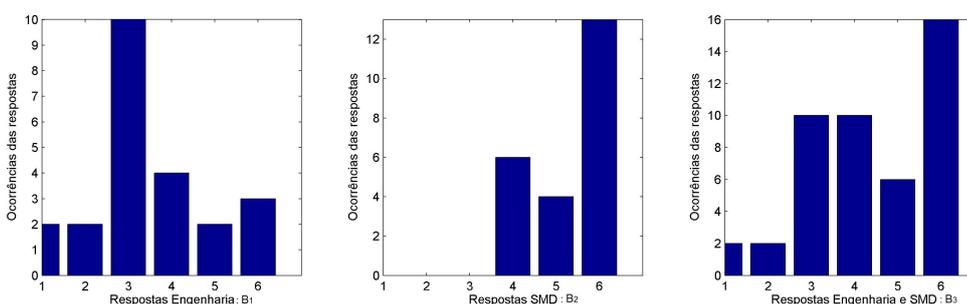
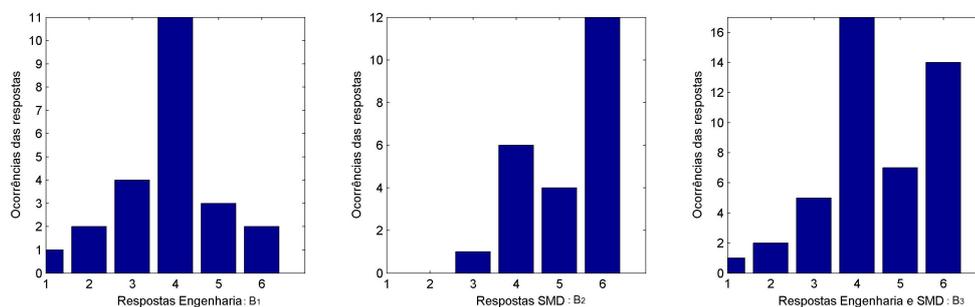


Figura 5.1.9: Histograma da incidência de respostas na Questão A₇.

Para esta assertiva, observa-se tendências contrárias nas análises de B_1 e B_2 . Existe em B_3 uma forte tendência negativa com o conceito 3 liderando as indicações. No caso B_2 a tendência é positiva com o conceito 6 liderando, mostra visões distintas quanto ao incentivo aos alunos para a avaliação (Figura 5.1.9).

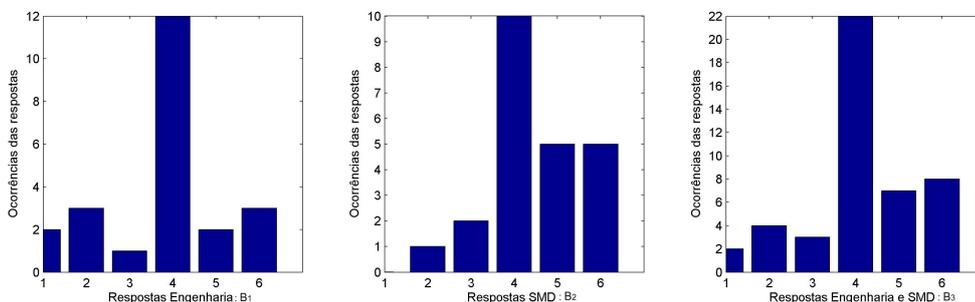
A₈. A Coordenação do curso incentiva os alunos a avaliarem as disciplinas (ou módulos)

(Figura 5.1.10).

**Figura 5.1.10:** Histograma da incidência de respostas na Questão A8.

Na assertiva A_8 , verifica-se que o maior número de respondentes, em B_1 , optou pelo conceito 4 e os demais variando entre 1 e 4. Em B_2 , todas as respostas foram para os conceitos positivos (4, 5, 6), com exceção de um respondente no conceito 3. Também fica clara a distinção entre as visões dos dois conjuntos amostrais quanto ao incentivo à avaliação das disciplinas (Figura 5.1.10).

A_9 . *A Coordenação do curso contribui para que haja um clima acadêmico propício ao aprendizado significativo e duradouro por parte dos alunos (Figura 5.1.11).*

**Figura 5.1.11:** Histograma da incidência de respostas na Questão A9.

A assertiva A_9 , apresenta conceito 4 de forma predominante, nas duas amostras, com uma leve tendência de mais positiva no caso da base do curso SMD. Neste caso, não há uma diferença grande quanto à visão sobre a aprendizagem (Figura 5.1.11).

A_{10} . *A Coordenação adota ações cabíveis para garantir a manutenção dos equipamentos de suporte específicos (computacionais, laboratoriais, etc.) (Figura 5.1.12).*

Aqui, verifica-se respostas equilibradas, mesmo que em B_1 , o conceito mais recorrente tenha sido o 4, mas os outros conceitos variaram de 5 a 2 ocorrências. Em B_2 a maioria das respostas foram nos conceitos positivos (4, 5, 6). Destaca-se que a manutenção dos equipamentos não é uma ação direta da Coordenação do Curso (Figura 5.1.12).

A_{11} . *A Coordenação do curso procura manter o acervo bibliográfico atualizado e em condições de pleno uso por docentes e discentes (Figura 5.1.13).*

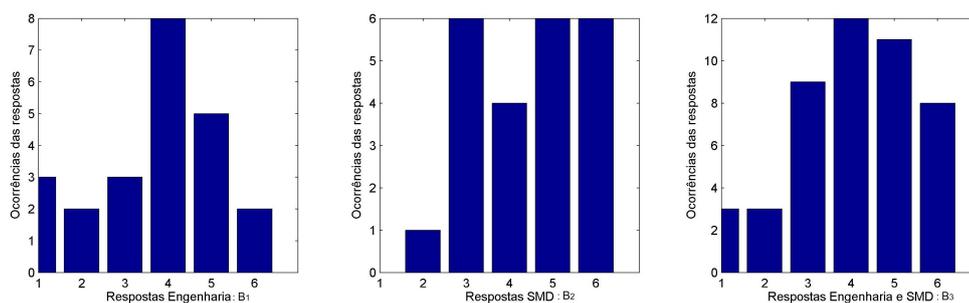


Figura 5.1.12: Histograma da incidência de respostas na Questão A₁₀.

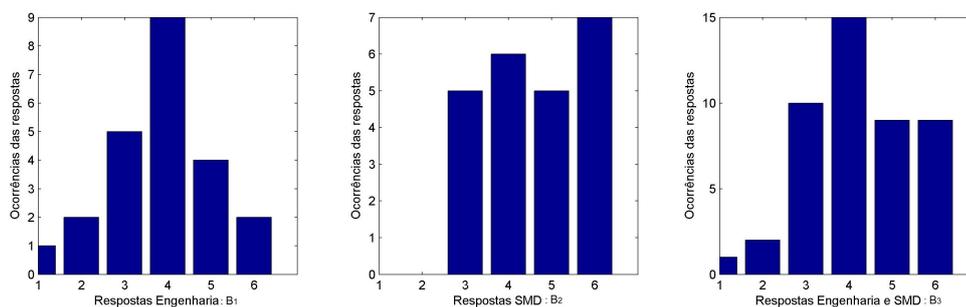


Figura 5.1.13: Histograma da incidência de respostas na Questão A₁₁.

Nesta assertiva, para o conjunto B_1 , a resposta mais recorrente foi a 4, e em seguida o conceito 3. Para o conjunto B_2 , houve cinco incidências do conceito 3 e os demais professores responderam em todos os demais conceitos, dentre os quais o conceito 6 foi o mais declarado pelos professores do curso SMD. Mesmo sabendo que o acervo não seja uma atribuição de vinculação direta da coordenação, os professores do conjunto B_2 analisaram positivamente (Figura 5.1.13).

A₁₂. A Coordenação do curso contribui para o desenvolvimento dos estágios curriculares (Figura 5.1.14).

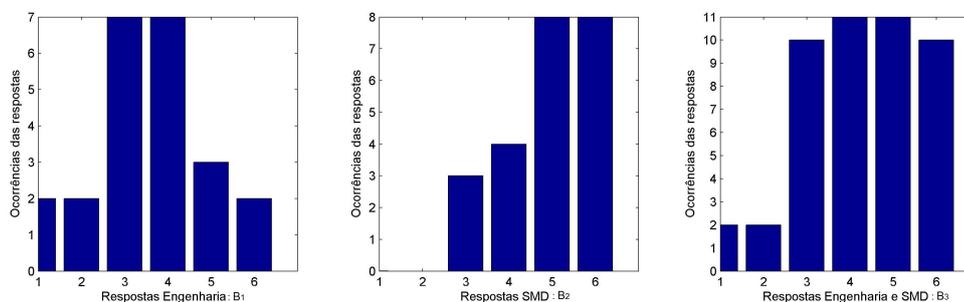


Figura 5.1.14: Histograma da incidência de respostas na Questão A₁₂.

Na Assertiva A₁₂, mostrou-se um conflito de entendimento dentro do conjunto B_1 , pois os dois conceitos centrais tiveram a mesma incidência, ou seja uma parte vivencia a realidade de contribuição quanto ao estágio e outra parte da amostra parece apresentar comportamento Contrário. Já no conjunto B_2 , a tendência é positiva por a maioria das respostas estarem na

escala acima do conceito 4 (Figura 5.1.14).

A₁₃. A Coordenação do curso adota ações cabíveis para garantir a manutenção das instalações físicas utilizadas pelo curso (Figura 5.1.15).

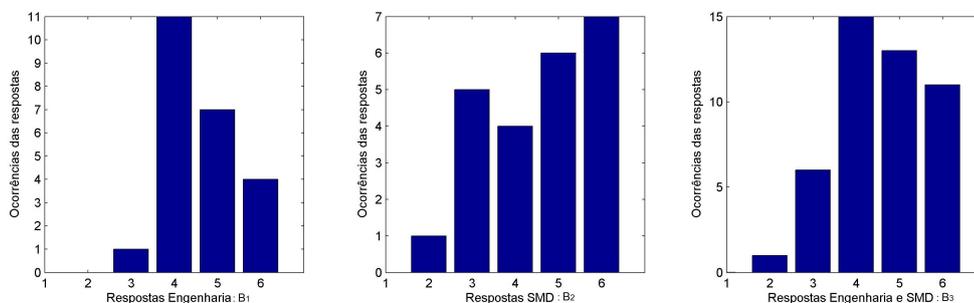


Figura 5.1.15: Histograma da incidência de respostas na Questão A₁₃.

Mesmo cientes de que não é uma atribuição direta da coordenação, os professores apontaram a tendência de respostas para um padrão positivo (Figura 5.1.15).

A₁₄. A Coordenação do curso tem reconhecida competência acadêmica (Figura 5.1.15).

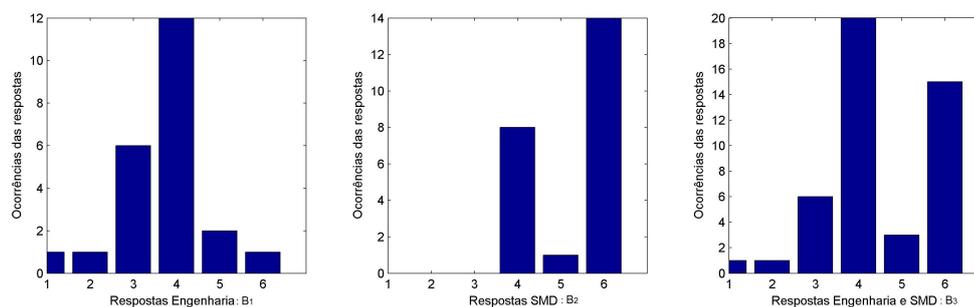


Figura 5.1.16: Histograma da incidência de respostas na Questão A₁₄.

O conceito mais atribuído no conjunto B_1 foi o 4, com uma leve tendência para uma avaliação negativa dos demais. Contudo, na análise do conjunto B_2 , a avaliação foi bastante positiva. Isto mostra mais uma vez a vivência de realidades distintas para cara grupo (Figura 5.1.16).

A₁₅. A Coordenação do curso tem reconhecida competência na gestão acadêmico-administrativa (Figura 5.1.17).

Quando analisados os aspectos relacionados à competência de cunho acadêmico-administrativa, pode ser verificada uma divergência de visões entre os dois grupos, em que o conjunto B_1 apontou, em sua maioria, o conceito 3 e nenhum conceito 6. Por outro lado, o conjunto B_2 apresentou tendência positiva com o conceito 4 ocorrendo com maior frequência.

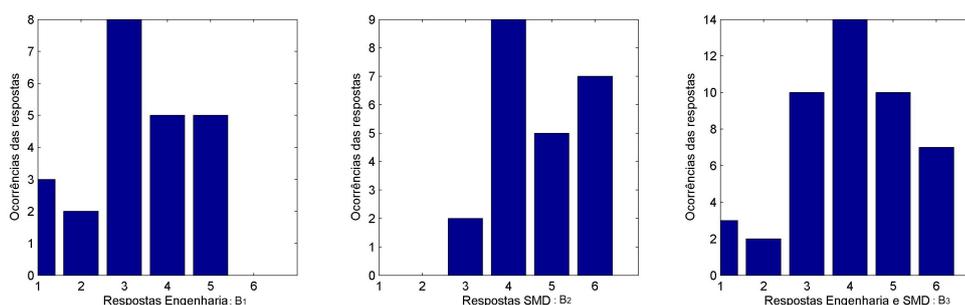


Figura 5.1.17: Histograma da incidência de respostas na Questão A₁₅.

5.1.3 Análise de Correlação

Análise de Correlação dos Dados referentes às Respostas das Engenharias

A análise de correlação dos dados foi feita com uso dos coeficientes de correlação entre as assertivas e de acordo com o Item 3.1.1. Para efeito de análise das correlações, optou-se por estudar focadamente as correlações mais extremas, ou seja, as que apresentam valores na faixa de Muito Alta ($|r| > 0,8$) e Muito Fraca ($|r| < 0,2$) (MOITA NETO, 2009). Na Figura 5.1.18 é observada a matriz de coeficientes de correlação μ , na qual se destaca que o maior valor de correlação está entre as assertivas A₉ e A₁₂. Isso sinaliza, segundo a visão do docente de engenharia, a importância da gestão acadêmica no sentido da associação entre o aprendizado significativo e a inserção do formando no mercado de trabalho por meio dos estágios curriculares.

A1	1.00														
A2	0.69	1.00													
A3	0.63	0.54	1.00												
A4	0.55	0.58	0.68	1.00											
A5	0.42	0.48	0.27	0.29	1.00										
A6	0.63	0.75	0.63	0.47	0.55	1.00									
A7	0.61	0.58	0.58	0.47	0.57	0.75	1.00								
A8	0.52	0.54	0.72	0.47	0.55	0.60	0.67	1.00							
A9	0.42	0.52	0.47	0.38	0.56	0.46	0.42	0.65	1.00						
A10	0.15	0.30	0.02	-0.02	0.63	0.20	0.29	0.40	0.66	1.00					
A11	0.53	0.45	0.60	0.63	0.45	0.53	0.42	0.60	0.40	0.07	1.00				
A12	0.42	0.54	0.45	0.42	0.62	0.44	0.45	0.69	0.88	0.77	0.36	1.00			
A13	0.22	0.20	0.29	0.29	0.16	0.51	0.40	0.29	0.35	0.26	0.46	0.29	1.00		
A14	0.54	0.63	0.50	0.51	0.73	0.69	0.71	0.55	0.30	0.33	0.54	0.46	0.17	1.00	
A15	0.42	0.33	0.34	0.49	0.78	0.44	0.64	0.39	0.26	0.33	0.29	0.42	0.07	0.73	1.00
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15

Figura 5.1.18: Matriz de coeficientes de correlação das Engenharias

Na Figura 5.1.18, em relação às correlações muito baixas ($|r| < 0,2$), destaca-se a assertiva que trata sobre a manutenção de equipamentos (A₁₀), que apresenta baixas correlações com as assertivas A₁, A₃, A₄, A₆ e A₇. Uma inferência que pode ser feita a este respeito é que,

na UFC, este tipo de ação não é de competência das Coordenações de Curso e sim de outras instâncias (UFC, 1982). Isto sugere que as coordenações não são responsabilizadas por essa atividade, o que potencialmente coloca em risco os resultados de avaliações, particularmente aquelas externas

Análise de Correlação dos Dados referentes às Respostas do curso de Sistemas e Mídias Digitais

Na Figura 5.1.19, foram analisadas as relação dos coeficientes de correlação entre as assertivas, como na secção anterior, também aqui, optou-se por estudar as correlações mais extremas, ou seja, as que apresentam valores na faixa de Muito Alta ($|r| > 0,8$) e Muito Fraca ($|r| < 0,2$), conforme recomenda (MOITA NETO, 2009). É observado que o maior valor de correlação está entre as assertivas A_{10} e A_{13} , sinalizando, segundo a visão do docente do curso de SMD, uma alta relação entre as duas assertivas. Isto faz sentido já que as duas tratam de manutenção seja de equipamentos, seja de infra-estrutura.

Destaca-se que neste caso, o curso SMD é o único presencial do Instituto UFC Virtual, o que possibilita um atendimento em eminentemente preferencial e único por parte da direção do instituto e conseqüentemente o apoio da coordenação do curso.

A1	1.00																	
A2	0.69	1.00																
A3	0.61	0.51	1.00															
A4	0.76	0.59	0.69	1.00														
A5	0.57	0.57	0.51	0.80	1.00													
A6	0.31	0.38	0.45	0.25	0.42	1.00												
A7	0.43	0.36	0.30	0.28	0.21	0.33	1.00											
A8	0.64	0.57	0.25	0.31	0.42	0.36	0.62	1.00										
A9	0.55	0.57	0.65	0.74	0.62	0.40	0.32	0.17	1.00									
A10	0.39	0.58	0.51	0.52	0.42	0.27	0.32	0.19	0.73	1.00								
A11	0.58	0.63	0.43	0.63	0.54	0.32	0.48	0.30	0.66	0.68	1.00							
A12	0.38	0.45	0.24	0.46	0.50	0.35	0.38	0.37	0.52	0.54	0.46	1.00						
A13	0.44	0.60	0.62	0.58	0.34	0.15	0.29	0.17	0.62	0.85	0.71	0.35	1.00					
A14	0.48	0.55	0.50	0.55	0.40	0.25	0.44	0.29	0.62	0.53	0.50	0.34	0.36	1.00				
A15	0.55	0.52	0.47	0.45	0.36	0.46	0.76	0.60	0.62	0.48	0.65	0.41	0.51	0.45	1.00			
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15			

Figura 5.1.19: Matriz de Coeficientes de Correlação do Curso SMD

Quanto às correlações muito baixas ($|r| < 0,2$), o coeficiente mais baixo foi entre as assertivas A_6 e A_{13} , apontando para uma relação baixa entre a infra-estrutura e os diálogos sobre currículos e outros aspectos. Contudo, cabe enfatizar sobre o grupo formado pelos professores do SMD, que a assertiva que discute sobre o incentivo aos alunos para avaliar as disciplinas (A_8), apresentou baixos coeficientes de correlação com as assertivas $A_{13}(0,17)$, $A_{10}(0,19)$, $A_9(0,17)$. Uma inferência a este respeito indica que o curso é novo, ou seja, não passou por processos

avaliativos, bem como, algumas das motivações destas assertivas não estão necessariamente na esfera de competência da coordenação do curso, mas de outras instâncias (UFC, 1982). Isto sugere que a coordenação do curso não pode ser responsabilizada por algumas das atividades e responsabilidades que aquelas assertivas lhe associam.

Análise de Correlação dos Dados referentes às Respostas do Cursos de Engenharia e de Sistemas e Mídias Digitais

Este subitem relaciona os cursos sob enquete de forma a integrar os dados. Na Figura 5.1.20, são mostrados os coeficientes de correlação entre as Assertivas, conforme preconizado por (MOITA NETO, 2009), estudar os valores dos coeficientes de correlação mais extremos, ou seja, os que apresentam valores próximos da faixa de Muito Alta ($|r| > 0,8$) e Muito Fraca ($|r| < 0,2$).

Pode ser observado que o maior valor de correlação está entre as assertivas A_7 e A_{15} , sinalizando, segundo a visão dos docentes dos cursos em análise, é atribuída certa importância à avaliação dos docentes e a conseqüente à liderança acadêmico-administrativa por parte das coordenações de curso. Pode-se ainda destacar que a assertiva A_7 está correlacionada fortemente com as assertivas A_8 e A_{15} , demonstrando o importante papel atribuído à avaliação dos docentes e disciplinas com as respectivas atuações das coordenações de cursos.

A1	1.00														
A2	0.69	1.00													
A3	0.63	0.58	1.00												
A4	0.63	0.53	0.66	1.00											
A5	0.51	0.58	0.44	0.54	1.00										
A6	0.53	0.64	0.59	0.33	0.54	1.00									
A7	0.53	0.59	0.52	0.29	0.50	0.67	1.00								
A8	0.57	0.64	0.55	0.33	0.55	0.60	0.76	1.00							
A9	0.49	0.58	0.58	0.52	0.61	0.49	0.46	0.52	1.00						
A10	0.28	0.49	0.31	0.24	0.57	0.31	0.39	0.40	0.71	1.00					
A11	0.57	0.59	0.56	0.59	0.54	0.50	0.52	0.54	0.55	0.39	1.00				
A12	0.43	0.59	0.43	0.37	0.61	0.51	0.60	0.68	0.76	0.70	0.49	1.00			
A13	0.32	0.39	0.46	0.48	0.25	0.27	0.23	0.17	0.44	0.55	0.55	0.25	1.00		
A14	0.50	0.67	0.55	0.41	0.60	0.60	0.75	0.62	0.49	0.48	0.58	0.59	0.20	1.00	
A15	0.49	0.54	0.47	0.39	0.63	0.55	0.78	0.62	0.47	0.46	0.52	0.57	0.24	0.73	1.00
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15

Figura 5.1.20: Matriz de Coeficientes de Correlação das Engenharias e do Curso SMD

Quanto às correlações muito baixas ($|r| < 0,2$), destaca-se a assertiva que trata sobre a manutenção das instalações físicas (A_{13}), que apresenta baixa correlação com as assertivas A_8 e A_{14} . Uma inferência que pode ser feita a este respeito é que, na UFC, este tipo de ação não é de competência das Coordenações dos Cursos e sim de outras instâncias (NUNES *et al.*, 2015). Isto sugere que os professores não atribuem ao coordenador esta função e ainda esta,

curiosamente, não teria relação com as avaliações das disciplinas e a liderança acadêmica das coordenações.

5.2 Análise dos Componentes Principais (PCA) dos Dados

Neste item aplica-se a metodologia PCA na perspectiva de identificar as principais características dos dados para efetiva avaliação dos cursos pelo professores.

5.2.1 PCA dos Dados referentes às Respostas dos Professores dos Cursos de Engenharia

Validando os Resultados Obtidos

Antes da aplicação do PCA, o conjunto de dados B_1 foram aplicados os testes de confiabilidade para verificação da sua consistência interna e adequação da amostra para a aplicação do método PCA, conforme descrito na Tabela 5:

1) α de Cronbach: é um índice que visa garantir a confiabilidade dos dados a partir da medida de sua consistência interna (TYLER, 1993) (NUNES *et al.*, 2013) (CRONBACH, 1951). Para o conjunto de dados coletados, o α de Cronbach apresentou valor igual a 0,9285 (Tabela 5), garantindo uma boa distribuição estatística dos dados em torno da média, ou seja, os respondentes seguiram uma mesma linha de raciocínio ao responder a enquete. Portanto, os dados se mostraram confiáveis para a análise.

Tabela 5: Valores dos Teste de Validação de B_1

<i>TesteKMO</i>	0,718
Teste de Esfericidade de Bartlett	0,000
α de Cronbach	0,928

2) Testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e Bartlett: Os testes KMO e o de esfericidade de Bartlett verificam se as variáveis analisadas são correlacionadas entre si, gerando a hipótese de a matriz de correlação das variáveis ser a matriz identidade (TYLER, 1993).

Como pode ser visto na Tabela 5, o valor do teste KMO se mostrou significativo (0,718), garantindo uma boa adequação da amostra para a aplicação do PCA, visto que este deve possuir valor igual ou superior a 0,6, conforme recomendado por (GREEN, 2011). O teste de Bartlett (Tabela 5) rejeitou a hipótese de que a matriz de correlação seria a matriz identidade (GREEN, 2011). Esta verificação mostrou que os dados são adequados para a aplicação do PCA.

h_p^2		
	Inicial	Extração
A ₁	1,000	0,631
A ₂	1,000	0,615
A ₃	1,000	0,756
A ₄	1,000	0,650
A ₅	1,000	0,870
A ₆	1,000	0,717
A ₇	1,000	0,704
A ₈	1,000	0,706
A ₉	1,000	0,866
A ₁₀	1,000	0,913
A ₁₁	1,000	0,624
A ₁₂	1,000	0,885
A ₁₃	1,000	0,445
A ₁₄	1,000	0,843
A ₁₅	1,000	0,833

Figura 5.2.1: Comunalidade de B_1

3) Análise das comunalidades: as variâncias das variáveis extraídas são comparadas com as variâncias das variáveis originais, verificando o quanto de variância comum h_p^2 (comunalidade), existe entre as variáveis observadas e as obtidas com o modelo PCA, sendo a comunalidade h_p^2 relacionada à variância específica s_p^2 (especificidade) e à medida do erro da variância e_p^2 , conforme expressão ($h_p^2 = 1 - (s_p^2 + e_p^2)$) (HORNQUIST; HERTZ; WAHDE, 2002). Destaca-se que s_p^2 diz respeito à parcela de característica específica da variável observada, enquanto que e_p^2 é a variância do erro de modelo e de observação.

Conforme apresentado na Tabela de comunalidades da Figura 5.2.1, os valores de comunalidade h_p^2 das variáveis apresentam percentuais superiores a 0,61, com a exceção da assertiva A_{13} .

Dessa forma, a assertiva A_{13} foi retirada das análises posteriores, pois apresenta um valor de comunalidade de 0,445, conforme a Tabela (Figura 5.2.1), ou seja, inferior ao valor mínimo sugerido pela literatura da área (HARMAN, 1968), isto indica uma baixa representatividade desta assertiva dentro das componentes a serem extraídas pelo método PCA. Vale destacar que a comunalidade desta assertiva indica que os professores apresentam opiniões discrepantes a respeito do conhecimento sobre as coordenações atuarem junto ao controle financeiro dos cursos.

Realização dos Procedimentos do PCA nos dados das Engenharias

O procedimento *PCA* começa com a seleção do número de componentes: O Gráfico *Scree* da Figura 5.2.2, apresenta a magnitude dos autovalores (λ) extraídos da matriz de correlação. Para seleção do número de componentes principais a serem consideradas, utilizamos o critério de Kaiser, a qual diz que as componentes a serem consideradas devem apresentar autovalores superiores a 1 (> 1) (TABACHNICK; FIDELL, 2001).

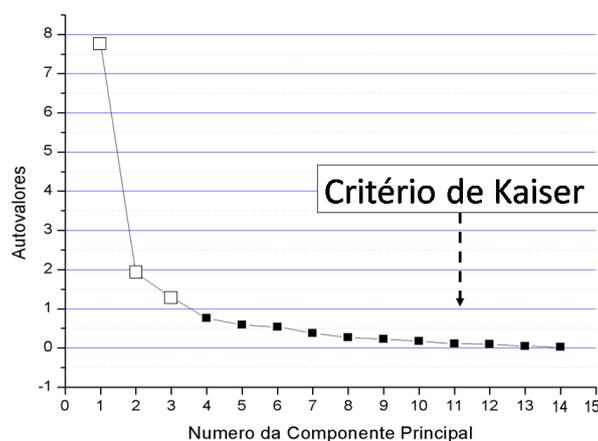


Figura 5.2.2: Gráfico Scree B_1

CP	Variância Explicada		
	Autovalores	% Variância Parcial	% Variância Acumulada
1	7,759	54,138	54,138
2	1,914	13,672	67,810
3	1,293	9,235	77,044
4	0,757	5,410	82,454
5	0,593	4,238	86,692
6	0,540	3,854	90,546
7	0,377	2,692	93,238
8	0,269	1,922	95,161
9	0,229	1,637	96,798
10	0,175	1,248	98,045
11	0,107	0,765	98,811
12	0,098	0,699	99,510
14	0,046	0,329	99,839
15	0,023	0,161	100,000

Figura 5.2.3: Variância Acumulada de B_1

Observa-se na Figura 5.2.2, que a curva sofre um decaimento brusco e estabiliza em valores entre 0 e 1 depois das três primeiras componentes, que representam a variância acumulada superior a 77%, conforme visto na Figura 5.2.3. Tal resultado apresenta suficiência na representação dos dados originais.

A análise de agrupamentos (*clusters*) com PCA: a partir das relações existentes entre as três componentes principais (CPs) e os correspondentes valores de Carregamento, foram consideradas as 3 CPs, e procurou-se estabelecer padrões de comportamentos intrínsecos às variáveis extraídas.

Foram gerados gráficos com os valores de carregamento das CPs, conforme recomendação de (BERRENDERO; JUSTELA; SVARC., 2011), nas quais são relacionadas as três CPs extraídas, conforme apresentadas nas Figuras 5.2.4 a 5.2.6. A análise das relações entre as CPs busca fortalecer as interpretações mais consistentes, à medida que alguma informação venha a ficar mais explícita nas diversas combinações das CPs.

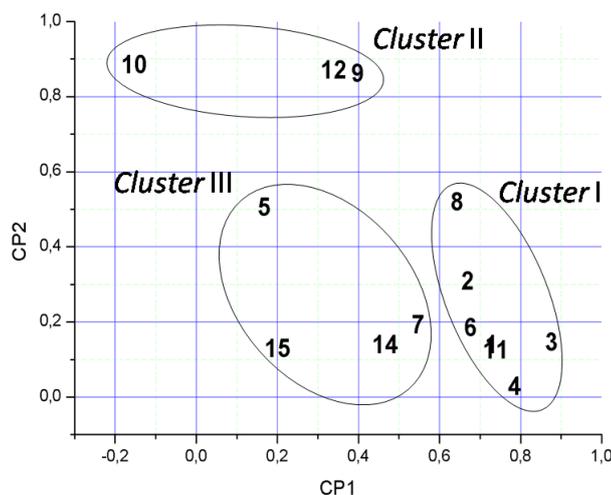


Figura 5.2.4: Relação CP1 \times CP2.

Verifica-se o mesmo padrão na organização das assertivas nas Figuras 5.2.4 a 5.2.6, formando três agrupamentos bem caracterizados por correlações intrínsecas, conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Detalhamento das assertivas por agrupamento e os α de Cronbach B_1

<i>Cluster</i>	Assertivas	α de Cronbach
I	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_6, A_8, A_{11}$	0,9067
II	A_9, A_{10}, A_{12}	0,9069
III	A_5, A_7, A_{14}, A_{15}	0,8916

Para garantir que esses agrupamentos apresentam confiabilidade e uniformidade internas, o α de Cronbach foi obtido e pode ser observado na Tabela 6. Destaca-se a alta consistência interna dos dados, garantindo a uniformidade dos agrupamentos formados.

Analisando os agrupamentos identificados, as assertivas do *Cluster I*, têm em comum o fato de se referirem prioritariamente à formação acadêmica dos estudantes bem como ações relacionadas à avaliação em suas várias manifestações, desde a avaliação das disciplinas até as avaliações externas, isto reforça a proximidade entre as assertivas referentes às funções acadêmicas e gerenciais, expostas em (ABMES, 2013). Dessa forma, para fins de análise decidiu-se nomear o agrupamento como Formação Acadêmica (**FA**).

As assertivas do *Cluster II* apresentam características relacionadas ao ambiente institucional de formação em nível superior e sua efetiva significância no que diz respeito ao mercado de trabalho no qual o egresso irá se inserir. Isto devido ao fato das assertivas solicitarem opiniões a respeito da formação significativa, que pressupõe a qualidade do engenheiro formado e a atividade curricular do estágio, onde o formando terá sua primeira oportunidade de inserção no

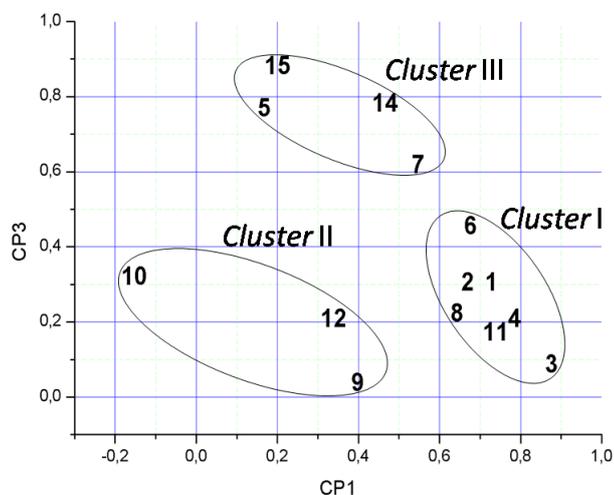


Figura 5.2.5: Relação CP1 × CP3.

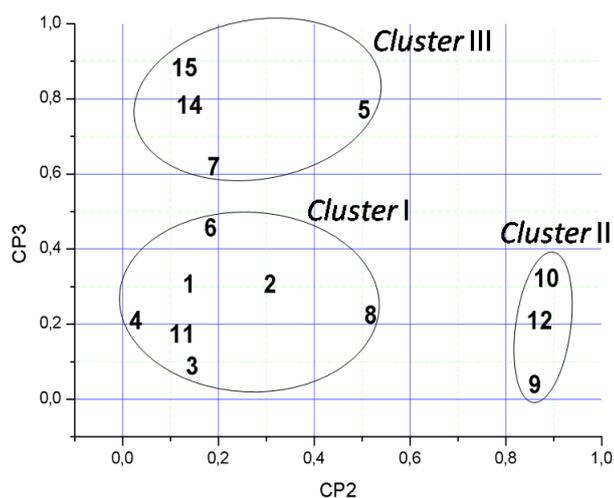


Figura 5.2.6: Relação CP2 × CP3.

mercado de trabalho. Estas características apontam para a uma afinidade entre as assertivas das funções institucional e gerenciais colocadas em (ABMES, 2013). Este agrupamento recebeu a denominação de Formação Profissional (FP).

No *Cluster III*, as assertivas apontam para a definição de uma forte relação com a liderança acadêmica da coordenação do curso e suas competências no que dizem respeito ao planejamento em seus vários níveis, desde o Projeto Pedagógico do Curso até os processos de gestão acadêmica, passando pela importância de administrar as atividades meio para o ensino superior. Análise deste grupo mostra uma representatividade no que diz respeito às funções política e gerencial (ABMES, 2013). Este agrupamento recebeu o nome de Gestão do Ensino Superior (GES).

As Figuras 5.2.4, 5.2.5 e 5.2.6 fornecem mais informações do que apenas a classificação das assertivas quanto aos agrupamentos formados, entre elas pode-se destacar que as funções gerenciais encontram-se de forma representativa nos três agrupamentos, indicando a importância da coordenação na condução do processo de formação, a qual inclui o sucesso acadêmico através da intervenção, sobretudo na evasão e reprovação.

Pode-se ainda retirar informações a partir dos gráficos de carregamento, considerando as projeções dos agrupamentos nas CPs extraídas. Na Figura 5.2.4, quando se projeta os agrupamentos nos eixos CP1 e CP2 destaca-se que: o *Cluster I (FA)* apresenta maiores valores de carregamento para a CP1, seguido dos *Clusters III (GES)* e II (**FP**); em relação a CP2, o *Cluster II (FP)* apresenta maiores valores de carregamentos, seguido dos *Clusters III (GES)* e I (**FA**).

Analisando a Figura 5.2.5, observa-se a mesma ordem de relevância dos agrupamentos quando projetados na CP1 da Figura 5.2.4, entretanto, em relação a CP3 destacam-se os maiores valores de carregamento para o *Cluster III (GES)*, seguido do *Cluster I (FA)* e do *Cluster II (FP)*.

A Figura 5.2.6 corrobora as informações contidas nas análises feitas das Figuras 5.2.5 e 5.2.6, contudo chama a atenção o fato das cargas fatoriais das assertivas pertencentes ao *Cluster II* estarem bem mais próximas.

Observa-se que na CP1 e na CP2 o agrupamento **GES** se mostrou o segundo mais relevante diante das componentes. Pode-se inferir que os professores mostraram uma consciência da importância do Papel da Gestão do Ensino Superior, tanto no que diz respeito à Formação Acadêmica como na Formação Profissional. Entretanto, a CP3 mostra que a Gestão do Ensino Superior encontra-se mais voltada para a Formação Acadêmica do que para a Formação Profissional.

5.2.2 PCA dos Dados referentes às Respostas dos Professores do Curso de Sistemas e Mídias Digitais

Validando os Resultados Obtidos

A base B_2 , referente aos professores do curso SMD, apresentou algumas inconsistências como por exemplo dois respondentes, informaram conceito 6 "Concordo Totalmente" para todas as 15 assertivas, apontando para o que parece ser uma possível falta de compromisso com a emissão de uma opinião fidedigna. Mesmo assim procedeu-se a aplicação do PCA, o conjunto de dados B_2 foi submetido aos mesmos testes de confiabilidade das demais bases de dados, isto para verificação da sua consistência interna e adequação da amostra para a aplicação do método

PCA, conforme descrito na Tabela 7:

1) α de Cronbach: Para o conjunto de dados B_2 , o α de Cronbach apresentou valor igual a 0,937 (Tabela 7), garantindo uma boa distribuição estatística dos dados em torno da média, ou seja, os respondentes seguiram uma mesma linha de raciocínio ao responder a enquête. Portanto, os dados se mostraram confiáveis para a análise, segundo este quesito.

Tabela 7: Valores dos Teste de Validação de B_2

<i>Kaiser – Meyer – Olkin</i> Amostra	0,592
Teste de Esfericidade de Bartlett	0,000
α de Cronbach	0,9307

2) Testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e Bartlett: Os testes KMO e o de esfericidade de Bartlett verificam se as variáveis analisadas são correlacionadas entre si, gerando a hipótese de a matriz de correlação das variáveis ser a matriz identidade (TYLER, 1993).

Como pode ser visto na Tabela 7 o valor do teste KMO foi o mais baixo das três bases com o valor de 0,592, não garantindo uma boa adequação da amostra para a aplicação do PCA, visto que este deve possuir valor igual ou superior a 0,6, conforme recomendado por (GREEN, 2011). O teste de Bartlett (Tabela 7), conforme as outras análises, rejeitou a hipótese de que a matriz de correlação seria a matriz identidade. Esta verificação mostrou que os dados se apresentam inadequados para a aplicação do PCA, segundo estes testes.

3) Análise das Comunalidades: Conforme apresentado na Tabela de comunalidades da Figura 5.2.7, alguns os valores de comunalidade h_p^2 das variáveis dessa análise apresentam valores baixos $A_6 = 0,375$, $A_{12} = 0,389$ e $A_{14} = 0,467$.

	h_p^2	
	Inicial	Extração
A ₁	1,000	0,738
A ₂	1,000	0,655
A ₃	1,000	0,609
A ₄	1,000	0,860
A ₅	1,000	0,790
A ₆	1,000	0,375
A ₇	1,000	0,836
A ₈	1,000	0,824
A ₉	1,000	0,790
A ₁₀	1,000	0,854
A ₁₁	1,000	0,728
A ₁₂	1,000	0,389
A ₁₃	1,000	0,827
A ₁₄	1,000	0,467
A ₁₅	1,000	0,822

Figura 5.2.7: Comunalidade de B_2

Dessa forma, estas assertivas, apresentando valores de comunalidade baixos (5.2.7), ou seja, inferior ao valor mínimo sugerido pela literatura da área (HARMAN, 1968), indicam pequena

representatividade dentro das componentes a serem extraídas pelo método PCA. Vale destacar que a comunalidade desta assertiva indica que os professores apresentam opiniões discrepantes a respeito das questões referentes ao diálogo sobre formação currículo, mercado de trabalho; estágios curriculares e a competência acadêmica da Coordenação.

Realização dos Procedimentos do PCA nos dados do SMD

Mesmo que se tenha obtido indicadores de validação, com pouca segurança quanto à aplicabilidade do procedimento *PCA*, os calculos foram realizados, buscando reforçar a análise nas inferência subjetivas consequentes do processo. Quanto à seleção do número de componentes: O gráfico Scree da Figura 5.2.8, apresenta a magnitude dos autovalores (λ) extraídos da matriz de correlação. Para selecionar do número de componentes principais a serem consideradas, for usado o critério de Kaiser, que diz que as componentes a serem consideradas devem apresentar autovalores superiores a 1 (> 1) (TABACHNICK; FIDELL, 2001).

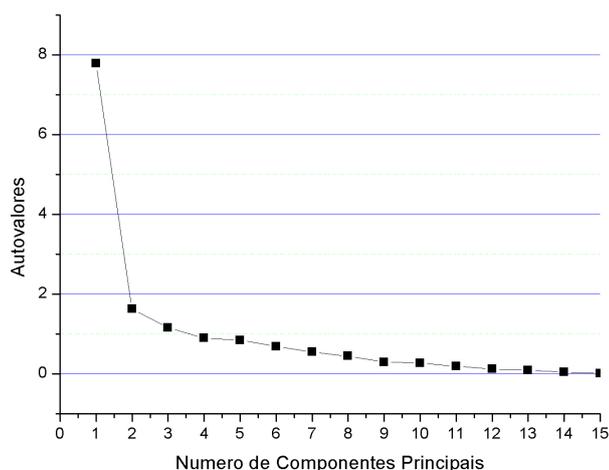


Figura 5.2.8: Gráfico Scree B_2

Observa-se na Figura 5.2.8, que a curva sofre um decaimento brusco e aparentemente estabiliza em valores entre 0 e 1 depois das três primeiras componentes, que representam uma variância acumulada superior a 70%, conforme visto na Figura 5.2.9. Tal resultado representa suficiência na representação dos dados originais.

A partir da Análise de Componentes Principais, destacam-se as duas primeiras componentes principais, já que estas apresentam uma variância explicada de 62,72% 5.2.9.

Conforme pode ser observado na Figura 5.2.10, constata-se a presença de três agrupamentos de assertivas. Esses agrupamentos são formados a partir da relação intrínseca dos dados originais, garantindo uma boa variância na representação desses padrões.

Variância Explicada			
CP	Autovalores	% Variância Parcial	% Variância Acumulada
1	7,780	51,868	54,868
2	1,629	10,858	62,726
3	1,894	7,695	70,421
4	0,894	5,959	76,381
5	0,842	5,615	81,996
6	0,688	4,588	86,584
7	0,549	3,661	90,246
8	0,445	2,968	93,214
9	0,295	1,969	95,183
10	0,270	1,797	96,980
11	0,186	1,241	98,222
12	0,120	0,803	99,025
13	0,093	0,622	99,647
14	0,041	0,271	99,918
15	0,012	0,082	100,000

Figura 5.2.9: Variância Acumulada de B_1

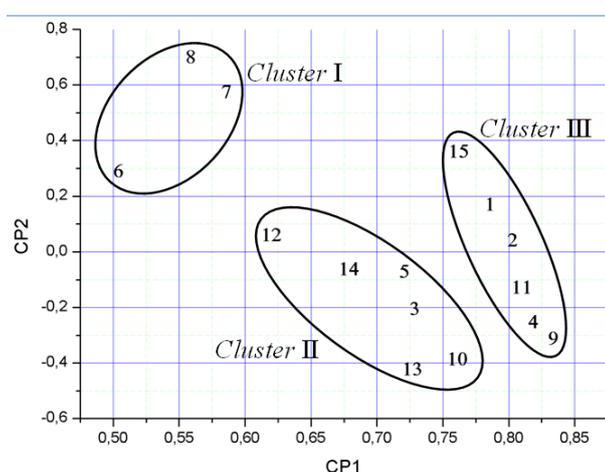


Figura 5.2.10: Relação $CP1 \times CP2$.

A partir dos agrupamentos gerados na Figura 5.2.10, o α de Cronbach foi calculado para cada agrupamento como pode ser visto na Tabela 8. Entretanto, apenas os Clusters II e III obtiveram um alto índice de confiabilidade interna dos dados. Esse resultado mostra que os dados obtidos não seguem numa mesma linha de raciocínio, ou seja, o Cluster I apresenta variância alta, a qual é refletida no baixo valor do α de Cronbach.

Tabela 8: Detalhamento das Assertivas por Agrupamento e os α de Cronbach B_2

Cluster	Assertivas	α de Cronbach
I	A_6, A_7, A_8	0,6849
II	$A_3, A_5, A_{10}, A_{12}, A_{13}, A_{14}$	0,8322
III	$A_1, A_2, A_4, A_9, A_{11}, A_{15}$	0,9025

5.2.3 PCA dos Dados referentes às Respostas dos Professores dos Cursos de Engenharia e de Sistemas e Mídias Digitais

Validação dos Resultados

Para garantir que a base de dados B3 era adequada para a análise via PCA, foram realizados alguns testes de confiabilidade quanto a sua consistência interna, conforme descrito.

1) Teste do α de Cronbach: Este é um índice que busca garantir a confiabilidade dos dados a partir da medida de sua consistência interna (MARQUESIN; PENTEADO; BAPTISTA, 2008), (TABACHNICK; FIDELL, 2001). Para o conjunto de dados coletados, o α de Cronbach apresentou valor igual a 0,9402 (Tabela 9), o que garante uma boa distribuição estatística dos dados em torno da média, ou seja, os respondentes seguiram uma mesma linha de raciocínio ao responder a enquête. Portanto, os dados se mostraram confiáveis para a análise, segundo esse parâmetro.

Tabela 9: Valores dos Teste de Validação de B_3

<i>Kaiser – Meyer – Olkinda</i> Amostra	0,824
Teste de Esfericidade de Bartlett	0,000
α de Cronbach	0,940

2) Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) and Bartlett's Test: KMO and Bartlett's of Sphericity Test, verificam correlação entre as variáveis analisadas, e ainda verificam a hipótese da matriz de correlação das variáveis ser a matriz identidade (VALOI, 2007).

O valor obtido para o KMO Test foi de 0,824 (Tabela 9), este valor mostra que os dados são significativos, dessa forma garante-se uma boa adequação da amostra para a aplicação do PCA, visto que este deve possuir valor igual ou superior a 0,6 (TABACHNICK; FIDELL, 2001). O teste de Bartlett rejeitou a hipótese de que a matriz de correlação seria a matriz identidade (Tabela 9), conforme recomenda (TABACHNICK; FIDELL, 2001).

3) *Communalities*: as variâncias das variáveis extraídas são comparadas com as variâncias das variáveis originais, verificando o quanto de variância comum h_p^2 (*communalities*), existe entre as variáveis observadas e as obtidas com o modelo PCA, sendo a *communality* h_p^2 relacionada à variância específica s_p^2 (especificidade) e à medida do erro da variância e_p^2 , conforme a expressão $h_p^2 = 1 - (s_p^2 + e_p^2)$, (PASQUALI, 2012), (CHAEA; WARDEB, 2006). Os valores das *communalities* das variáveis estão colocados na Tabela 5.2.11 extração PCA-1. Como pode ser visto, todas as assertivas apresentam valores superiores a 0,6, o que indica representatividades altas das assertivas.

item	Inicial	h_p^2 15 (items)	h_p^2 (12 items)
		PCA-1	PCA-2
A ₁	1,000	0,712	0,765
A ₂	1,000	0,693	0,719
A ₃	1,000	0,720	0,738
A ₄	1,000	0,770	-
A ₅	1,000	0,614	0,668
A ₆	1,000	0,633	0,640
A ₇	1,000	0,810	0,879
A ₈	1,000	0,735	0,701
A ₉	1,000	0,773	0,875
A ₁₀	1,000	0,910	-
A ₁₁	1,000	0,659	0,606
A ₁₂	1,000	0,800	0,855
A ₁₃	1,000	0,716	-
A ₁₄	1,000	0,737	0,766
A ₁₅	1,000	0,700	0,799

Figura 5.2.11: Comunalidade de B_3

Realização dos Procedimentos do PCA nos dados das Engenharias e no curso de Sistemas e Mídias Digitais

A Seleção do número de componentes: A Figura 5.2.12 (PCA1) apresenta a magnitude dos autovalores (λ) extraídos da matriz de correlação. Para selecionar o número de componentes principais a serem consideradas posteriormente, utiliza-se o critério de Kaiser, que diz que as componentes a serem consideradas devem apresentar autovalores superiores a 1 ($\lambda > 1$) (MARQUESIN; PENTEADO; BAPTISTA, 2008).

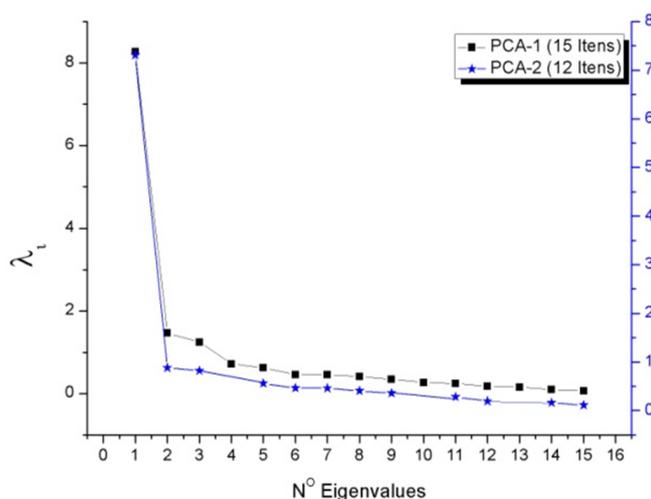


Figura 5.2.12: Gráfico Scree 3.

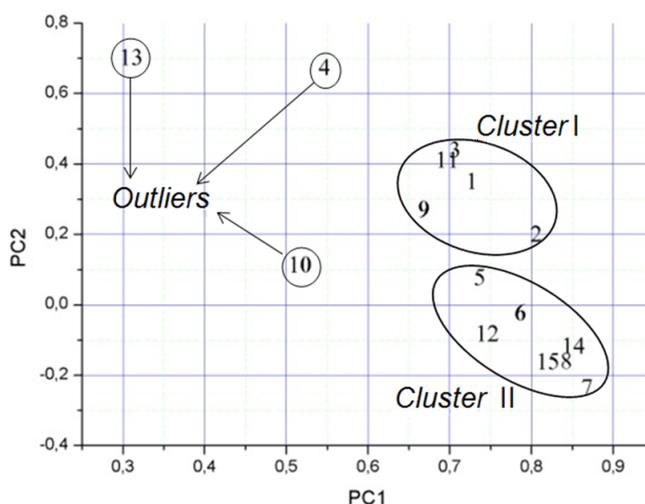
Observa-se na Figura 5.2.12 (PCA1), que a curva sofre um decaimento brusco e aparentemente estabiliza em valores entre 0 e 1 depois das três primeiras componentes, que representam uma variância acumulada superior a 73%, conforme visto na Tabela 10. Tal resultado representa suficiência na representação dos dados originais.

Tabela 10: Variância explicada nos 2 estágios de B_3

N. de Itens/ Estágio	Escala variância acumulada (1 autovalor)	Escala variância acumulada (2 autovalores)	Escala variância acumulada (3 autovalores)
15 itens/ PCA-1	8,27 / 55,16%	1,47 / 64,92%	1,24 / 73,20%
12 itens (excluindo A_4 , A_{10} e A_{13})/ PCA-2	7,31 / 60,93%	0,88 / 68,26%	0,82 / 75,09%

Análise de agrupamento (*cluster*): A partir das relações existentes entre as 2 Principais Componentes (CPs), foram gerados gráficos de carregamento das magnitudes dos autovalores, para os quais se procurou estabelecer padrões de comportamentos intrínsecos às variáveis extraídas.

Na Figura 5.2.13, pode ser verificada a formação de dois grupos:.. Observamos na Figura 5.2.13, três cargas fatoriais foram consideradas *outliers*. Quando analisadas as assertivas, foram observados que se tratava do ENADE Desempenho Exame Nacional dos Estudantes (A_4) e do administração e manutenção de equipamentos e instalações físicas (A_{10} e A_{13}).

**Figura 5.2.13:** Carregamentos do Gráfico PCA1.

A discrepância referente ao item A_4 pode ser atribuída influência do curso de SMD, que ainda não passou pelo processo de avaliação externa e que contribui, neste estudo, com 50% dos respondentes. Quanto aos itens A_{10} e A_{13} , este aparente distanciamento dos *clusters* revela a consciência, por parte dos professores, da não obrigatoriedade das coordenações de atuar nos setores de manutenção de equipamentos e infraestrutura física, já que estes devem ser geridos por outras instâncias da universidade (UFC, 1982).

A ocorrência dos *outliers* mostrou a necessidade de retirar os respectivos itens da análise, já que poderiam influenciar negativamente os agrupamentos. A retirada dos itens demandou um novo processo de validação, para o qual foram obtidos os dados da Tabela 10 (PCA2).

Pode-se observar que a nova validação mostrou-se consistente com valores superiores aos da etapa anterior de validação. É possível observar que o modelo seleciona apenas uma componente com valor igual ou superior a 1 (critério de Kaiser), e esta representa sozinha aproximadamente 61% da variância (Tabela 10 PCA2), é possível ainda visualizar a estabilidade no decaimento das magnitudes dos autovalores na Figura 5.2.12 (PCA2).

Quanto ao carregamento dos valores nas PCs, é observado um novo padrão, bem mais consistente, com a formação de três *clusters* (Figura 5.2.14). As assertivas apresentam novos *clusters* que são colocados na Tabela 11, com os seus respectivos valores para o α de Cronbach.

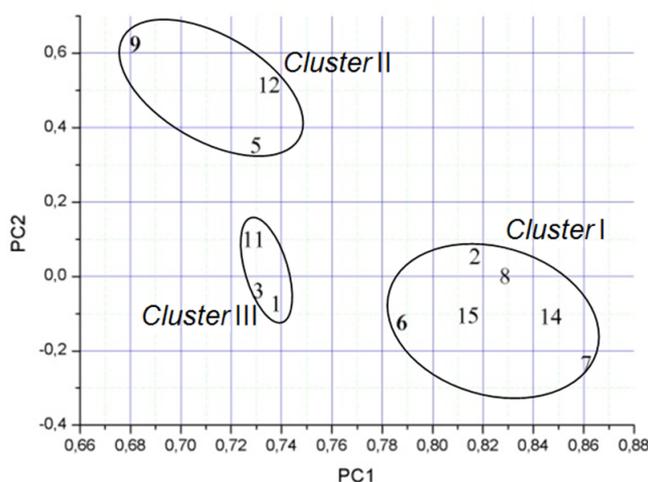


Figura 5.2.14: Carregamentos do Gráfico PCA2.

Tabela 11: Detalhamento das assertivas por agrupamento e o α de Cronbach B_3

<i>Cluster</i>	Assertivas	α de Cronbach
I	$A_2, A_6, A_7, A_8, A_{14}, A_{15}$	0,9175
II	A_5, A_9, A_{12}	0,8520
III	A_1, A_3, A_{11}	0,8072

As assertivas referentes ao *cluster* I, têm em comum o fato de se referirem principalmente em aspectos relacionados ao currículo, avaliação e liderança acadêmica e administrativa, esta inferência reforça a importância atribuída, pelos professores, ao papel indutor de diretrizes para curso que pode ser exercido pelas coordenações. Este *cluster* foi nomeado Planejamento \times Avaliação (**PA**).

O *cluster* II apresenta assertivas relacionadas ao ambiente institucional de formação e sua visibilidade externa, seja na sociedade de forma mais ampla, no que diz respeito aos aspectos relacionados ao aprendizado significativo e o ENADE, ou de forma mais específica em sua atuação no mercado de trabalho, através de seu primeiro contato por meio dos estágios curriculares. O *cluster* recebeu a denominação de Gestão da Formação Profissional x Mercado de Trabalho (PM).

Quando analisado o *cluster* III, as assertivas apontam para uma afinidade quanto aos aspectos referentes a Formação Acadêmica dos alunos, principalmente no que diz respeito aos espaços de apoio a aprendizagem como biblioteca e atividades extra-curriculares. Este *cluster* foi denominado de Gestão da Formação Acadêmica x ambientes de apoio a aprendizagem (AA).

A Figura 5.2.14, pode ainda fornecer outras informações como: as assertivas do *cluster* I apresentam maiores valores de carregamento na PC1, seguido dos outros dois *clusters* quase com a mesma ordem de magnitude; em relação a PC2 os maiores valores de carregamento são apresentados pelas assertivas do *cluster* II, seguido dos outros dois sendo estes de valores semelhantes.

Observa-se ainda que na PC1 e PC2 o *cluster* III foi identificado como o segundo mais relevante frente a estas componentes. Pode-se inferir que os professores mostraram uma consciência do papel importante que a gestão do ensino superior possui na condução dos processos formativos acadêmicos em cursos de engenharia, tecnologia e afins.

5.3 Análise Tensorial

Nesta seção, serão apresentadas as análises tensoriais dos dados coletados. Conforme foi destacado na Figura 4.3.1(a), a estrutura dos dados também pode ser colocada em um formato tridimensional, permitindo uma análise mais aprofundada sobre a relação existente entre os modos avaliadores, assertivas e cursos. Desta forma, dois modelos de análise de dados tensoriais são apresentados a seguir, para que se possa destacar novas análises além daquelas já apresentadas na Seção 5.2.

Conforme foi destacado na Seção 3.2.2, a análise dos dados é feita a partir da aplicação dos modelos PARAFAC e Tucker3.

5.3.1 Modelo PARAFAC

Para que o modelo PARAFAC seja aplicado, dois critérios de convergência precisam ser colocados no algoritmo, sendo eles:

1. erro = 10^{-4}
2. N^o.ite = 5000

A partir da Equação 3.15, pode-se destacar que o *rank* do tensor de dados original é 30, ou seja, se o modelo PARAFAC decomposer o tensor de dados com 30 componentes, o tensor de dados estimado será o mesmo do tensor de dados original.

Com base nos resultados obtidos pelo algoritmo ALS-PARAFAC, o menor *rank* obtido do tensor estimado, para os critérios de convergência citados acima, foi 22. A Figura 5.3.1 apresenta o erro de reconstrução do modelo, obtido pela Eq 3.21, para diferentes *ranks*. Pode-se observar que apenas o *rank* 22 conseguiu atingir o critério de convergência do erro. Neste sentido, a convergência do modelo se deu apenas para valores elevados de *rank* (> 22), não permitindo uma aproximação eficiente para um tensor estimado de baixo *rank*.

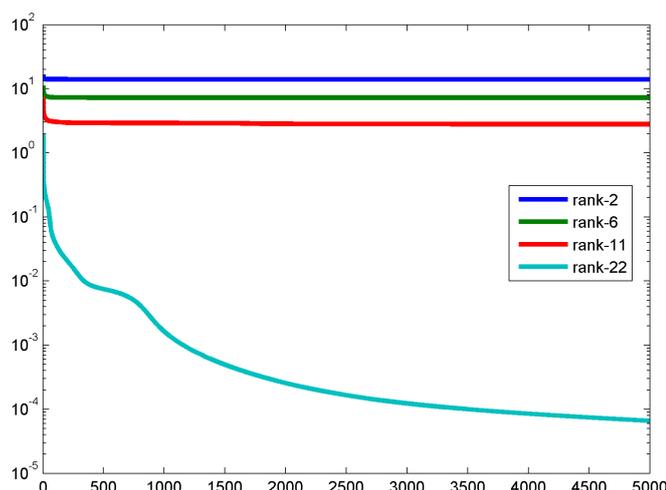


Figura 5.3.1: Resultado da Convergência do Modelo PARAFAC para *ranks* 2, 6, 11 e 22.

Embora não tenha sido aplicado nenhum critério de seleção de componentes para o modelo, a seleção de um número suficientemente reduzido de *ranks* para a decomposição torna-se um ponto primordial para a análise dos resultados obtidos. Da forma como o modelo se comportou, não se justifica dar prosseguimento às análises dos resultados em virtude da alta complexidade das relações obtidas. A decomposição PARAFAC se mostrou ineficaz para a aplicação na base de dados coletada.

5.3.2 Modelo Tucker3

Assim como o modelo PARAFAC, o modelo Tucker3 foi aplicado na base de dados, no formato tridimensional, para a extração de relações intrínsecas das variáveis analisadas.

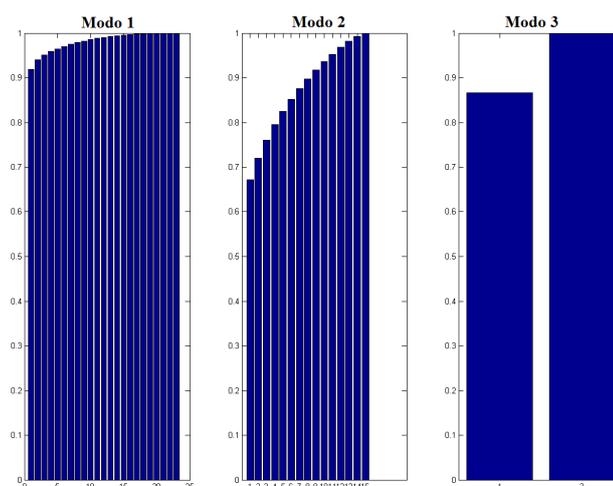


Figura 5.3.2: Variância explicada em cada dimensão tensor CP2

Conforme apresentado na seção anterior, o modelo PARAFAC não se mostrou adequado para a decomposição do tensor de dados original. Tal problema não ocorre com o modelo Tucker3, pois a forma como ele foi conduzido nesta pesquisa garante uma solução fechada da decomposição para qualquer configuração dos dados (ver Seção 3.2.2).

Embora a base de dados tenha uma estrutura tridimensional, a aplicação do modelo não garante uma solução ótima para ser analisada, sendo necessário alguns ajustes e preprocessamentos na base (SMILDE; BRO; GELADI, 2004). Neste caso, alguns testes, variando a ordem dos avaliadores dos cursos, foram realizados até que a estrutura mais adequada para a análise fosse obtida.

O algoritmo da decomposição Tucker3, apresentado na Seção 3.2.2, destaca a aplicação da SVD em cada um dos modos \mathbf{X}_1 , \mathbf{X}_2 e \mathbf{X}_3 do tensor \mathcal{X} . Sendo assim, o resultado obtido pela SVD corresponde a $SVD(\mathbf{X}) = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^T$, em que $\mathbf{\Sigma}$ é a matriz que contém os valores singulares da decomposição (KOLDA; BADER, 2009). Baseado nesses valores singulares, tal como foi obtido na Seção 5.2 em relação aos autovalores da matriz de dados, pode-se calcular a variância explicada do modelo. Dessa forma, pode-se analisar o quanto de informação útil está sendo preservada na decomposição.

Conforme explicado, o modelo Tucker3 *closed form* garante a aplicação da SVD em cada modo do tensor \mathcal{X} . Dessa forma, a variância explicada (VE) das componentes foi computada para cada modo do tensor.

A Figura 5.3.2 apresenta os resultados das VE's em relação a cada um dos modos do tensor. Diferentemente dos resultados obtidos pelo modelo PARAFAC, observa-se que com um baixo número de componentes, o modelo já representa os dados originais de forma satisfatória.

De acordo com a Seção 3.2.2, o modelo Tucker3 é uma generalização do modelo PCA.

Então, para que se possa comparar os dois modelos de forma justa, o número de componentes do modelo Tucker3 deve ser o mesmo do modelo gerado nos resultados do modelo PCA. Dessa forma, a escolha de duas ou três componentes torna-se fundamental para que essa comparação faça sentido.

Ainda de acordo com a Figura 5.3.2, destaca-se que, com duas componentes, em todos os modos, o modelo já tem uma VE muito satisfatória. No modo 1, as duas primeiras componentes apresentam uma VE de aproximadamente 93%. Em relação ao modo 2, a VE obtida para as duas primeiras componentes foi de 71%. Por fim, como o modo 3 do tensor de dados analisado apresenta apenas ordem 2, então a máxima decomposição desse modo será obtida com duas componentes, sendo assim, as duas componentes fornecem uma VE de 100% dos dados.

Com a seleção de duas componentes para a análise, o mesmo artifício gráfico utilizado na análise do modelo PCA, pode ser utilizado nos resultados obtidos pelo modelo Tucker3. Como o interesse desta pesquisa está relacionado à identificação dos padrões obtidos das assertivas, apenas os resultados do modo 2 serão analisados.

A partir da análise da Figura 5.3.3, destaca-se a presença de dois *clusters* e um *outlier* (A_5). O *Cluster I* contém as assertivas $A_1, A_2, A_3, A_4, A_6, A_7, A_8, A_{11}, A_{14}$ e A_{15} . Já as assertivas A_9, A_{10}, A_{12} e A_{13} estão contidas no *Cluster II*.

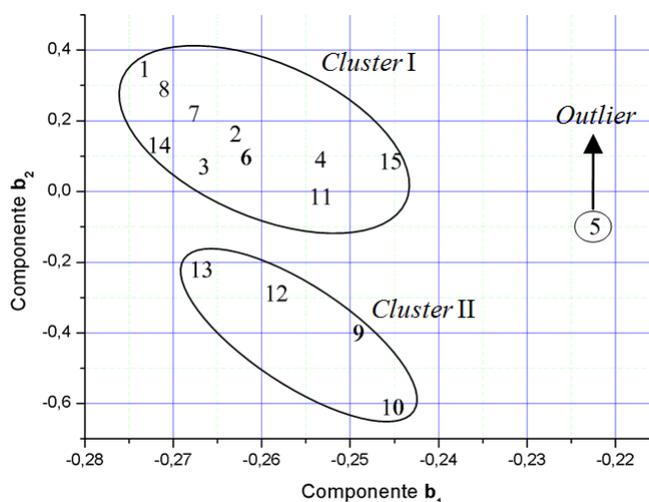


Figura 5.3.3: Relação entre as componentes $b_1 \times b_2$

As assertivas relacionadas à avaliação docente e discente; elaboração do projeto político-pedagógico; manutenção do acervo bibliográfico; participação em eventos científicos; acompanhamento do desempenho discente; participação no ENADE e formação acadêmica complementar são competências inerentes a gestão do ensino superior. Tais assertivas formam o *Cluster I*. Deste modo, o *Cluster I* pode ser qualificado como um indicador de Qualidade da Gestão Acadêmica (**QGA**).

Em relação ao *cluster II*, as assertivas estão relacionadas à manutenção das instalações

físicas, estágios curriculares, manutenção de equipamentos e ao bem-estar acadêmico. Percebe-se que nem todas as assertivas presentes neste agrupamento são de competência plena da gestão, fazendo com que ela tenha que se remeter a outras instâncias acadêmicas para solucionar problemas, por exemplo, associado a manutenção de equipamentos ou das instalações físicas. Sendo assim, o *Cluster II* é um indicador de Suporte ao Aprendizado (SA).

A fim de verificar a consistência interna dos agrupamentos gerados, o α de Cronbach foi calculado e apresentou valores elevados nas duas base de dados, garantindo assim uma alta confiabilidade dos agrupamentos gerados, conforme pode-se ver abaixo:

- *Cluster I:*

- Engenharias: 0,9246

- SMD: 0,8995

- *Cluster II:*

- Engenharias: 0,8368

- SMD: 0,8460

Vale ressaltar que o α de Cronbach não pode ser aplicado a estruturas de dados multilineares, então ele teve que ser aplicado de forma independente em cada fatia modo 1 do tensor de dados.

A partir da obtenção da assertiva A_5 como pontos fora da curva (*outliers*), observa-se que a gestão, nos cursos analisados, não convoca o corpo discente para a discussão dos resultados do ENADE, fato esse que, possivelmente, influenciou as respostas dos professores nesta assertiva, fazendo com que ela não pudesse ser agrupada em nenhum dos agrupamentos gerados.

O modelo Tucker3 não se limita apenas a obtenção de cargas fatoriais para a formação de agrupamentos, sendo gerado também dados que estabelecem graus de relação entre as componentes extraídas pelo modelo.

Os resultados da Tabela 12 são referentes ao cálculo do tensor núcleo \mathcal{G} (Seção 3.2.2). Eles apresentam a interação entre os modos do tensor, tomado vetor a vetor. Ou seja, cada valor de \mathcal{G} representa a magnitude da interação entre, por exemplo, os vetores \mathbf{a}_1 , \mathbf{b}_1 e \mathbf{c}_2 . Dessa forma, observa-se que, conforme dito anteriormente, para que a analogia com o PCA possa ser feita, o número de componentes extraídas de cada modo do modelo Tucker3 é 2. Sendo assim, o tensor núcleo \mathcal{G} apresenta dimensões $\mathbb{R}^{P \times Q \times R}$, em que $P = Q = R = 2$.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 12, pode-se destacar que dois valores, relacionados as tríades $\mathbf{a}_1 \mathbf{b}_1 \mathbf{c}_1$ e $\mathbf{a}_1 \mathbf{b}_1 \mathbf{c}_2$, apresentam magnitude superior aos demais, sendo que o primeiro $(-113,4013)$ apresenta um valor absoluto mais elevado do que o segundo $(-2,09)$. Como

Tabela 12: Resultado dos pesos obtidos pelo tensor núcleo \mathcal{G} .

$\mathcal{G}(:, :, 1)$ Cursos de Engenharia		
	\mathbf{b}_1	\mathbf{b}_2
\mathbf{a}_1	-113,4013	0,3001
\mathbf{a}_2	-0,3571	-0,3571
$\mathcal{G}(:, :, 2)$ Cursos de Sistemas e Mídias Digitais		
	\mathbf{b}_1	\mathbf{b}_2
\mathbf{a}_1	-2,0921	-0,1898
\mathbf{a}_2	0,8303	0,1248

é possível observar, a diferença de magnitude encontrada se deu de forma distinta, entre as bases de dados, onde $\mathcal{G}(:, :, 1)$ representa a base de dados dos cursos de engenharia e $\mathcal{G}(:, :, 2)$ está relacionado ao curso de sistemas e mídias digitais. Pode-se concluir que a relação entre as componentes $\mathbf{a}_1 \mathbf{b}_1 \mathbf{c}_1$ é muito alta, gerando assim a necessidade de se compreender o comportamento das componentes \mathbf{a}_1 e \mathbf{c}_1 , as quais não são objeto de estudo desta pesquisa, podendo ser exploradas em trabalhos posteriores.

Como a análise do modelo Tucker3 foi feita apenas sob a ótica das componentes \mathbf{b}_1 e \mathbf{b}_2 , torna-se importante analisar as interrelações dessas componentes com as demais. Diante disso, destaca-se que, ainda de acordo com a Tabela 12, os pesos das interações das componentes \mathbf{b}_1 e \mathbf{b}_2 em relação as componentes \mathbf{a}_1 , \mathbf{a}_2 e \mathbf{c}_1 , é maior do que os pesos de \mathbf{b}_1 e \mathbf{b}_2 em relação a \mathbf{a}_1 , \mathbf{a}_2 e \mathbf{c}_2 . Essa diferença está relacionada às diferentes bases de dados analisadas.

Vale a pena destacar que, de forma equivalente à análise sobre a importância das contribuições dos dados na composição dos autovalores selecionados no método PCA (item 5.2), o método tensorial Tucker3 também reflete a mesma importância dos dados na composição dos valores singulares (e consequentemente autovalores) selecionados nas duas componentes principais (sob o critério de maiores valores da variância explicada) para os 3 modos de desfolhamento na forma de SVD's. Mais do que isso, os 2 conjuntos de dados associados aos cursos de engenharia e ao curso de SMD, estão satisfatoriamente refletidos e associados pelas 2 componentes referentes ao modo 2 da decomposição Tucker3, associado às assertivas, cujos 2 valores singulares deste modo associados ao tensor núcleo, refletindo as contribuições de todos os dados de cada conjunto em análise.

Então, com a magnitude dos valores do tensor núcleo relacionadas ao curso de engenharia sendo maior do que a magnitude dos valores do curso de SMD, pode-se garantir que a decomposição atesta que os dados da engenharia tem maior influencia na relação $\mathbf{b}_1 \times \mathbf{b}_2$.

Os resultados obtidos pela análise tensorial, a partir do modelo Tucker3, se adequou perfeitamente aos dados coletados. Diferentemente do que ocorreu no PCA, a análise tensorial foi feita apenas a partir da geração de um gráfico *biplot*. Os resultados mais concisos, levando

em consideração a estrutura multilinear dos dados, garantiu que o modelo Tucker3 extraísse padrões bem interessantes, tanto das componentes \mathbf{b}_1 e \mathbf{b}_2 quanto do tensor núcleo \mathcal{G} .

Embora o modelo PCA tenha fornecido indicadores de qualidade da gestão, a relação entre esses indicadores e os indicadores externos não está evidente. Por outro lado, os indicadores oriundos do modelo Tucker3, Qualidade da Gestão Acadêmica (QGA) e Suporte ao Aprendizado (SA), se adéquam perfeitamente ao que preconiza o CPC.

A seguir é apresentado um sumário de conclusões reafirmando os principais resultados desta tese, bem como as perspectivas de contribuição deste trabalho.

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

6.1 Conclusões

Buscou-se demonstrar a viabilidade da aplicação de ferramentas matemáticas de análise matricial e tensorial no contexto de suporte à gestão do ensino superior, com o intuito de contribuir para a melhoria da qualidade da formação de profissionais nas áreas de tecnologia e de engenharia.

A pesquisa de doutoramento, desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará, proporcionou uma interrelação entre duas grandes áreas do conhecimento: a engenharia e a educação. No que diz respeito à engenharia, foram utilizadas ferramentas matemáticas de processamento da informação e o contexto de aplicação, e em relação à educação, conceitos de gestão dos processos de ensino-aprendizagem foram aplicados.

No decorrer da pesquisa foi desenvolvimento de um instrumento de avaliação que pudesse permitir a identificação das competências da gestão acadêmica, por meio de indicadores educacionais internos a instituição. Tais indicadores são baseados em atividades realizadas pelas coordenações de cursos e o consequente suporte ao desenvolvimento da formação de profissionais nas áreas de tecnologia e de engenharia no âmbito da Universidade Federal do Ceará.

Inicialmente, a pesquisa buscou a identificação da visão apresentada por professores de 6 cursos de engenharia e do curso de sistemas e mídias digitais da UFC. Foram colocados à avaliação os procedimentos e ações de gestão do ensino superior junto aos seus respectivos cursos, isto para que se pudesse identificar o estabelecimento de alguma relação desses métodos/ações e os respectivos conceitos/notas/indicadores de qualidade alcançados pelos cursos em avaliações externas.

A captação dos dados, para a análise, foi feita por meio da aplicação de uma enquete, desenvolvida com o objetivo de obter a visão dos professores quanto à atuação das coordenações de curso. A análise estatística descritiva, evidenciou que as respostas reforçam aspectos positivos quanto à avaliação das ações de gestão dos coordenadores junto aos cursos. Isto é devido à constatação de médias elevadas (> 3), no que diz respeito aos valores atribuídos às

assertivas do instrumento de avaliação proposto.

É necessário dizer que o número de respondentes esperado era maior, tanto no que diz respeito aos cursos como no número de professores, o que poderia colocar em risco a confiabilidade dos dados e da pesquisa. Contudo, os resultados dos teste de validação mostraram que as bases apresentavam consistência interna alta, mostrando a viabilidade do uso da PCA. A análise de dados relacionados à gestão acadêmica de nível superior, mostrou-se fidedigna, mesmo com a necessidade de retirada de itens, em alguns momentos, para aumentar a consistência interna dos dados, para atender possíveis particularidades da amostra. As assertivas foram classificadas de forma consistente na aplicação do PCA, tanto para os dados oriundos dos cursos da engenharia (B_1) quanto para os dados que englobam os respondentes dos cursos de engenharia e do curso de sistemas e mídias digitais (B_3). Contudo, a aplicação do modelo PCA na base de dados relacionada ao curso de sistemas e mídias digitais B_2 , não se mostrou confiável, provavelmente por se tratar de um curso novo buscando por uma identidade própria tanto no que diz respeito ao cenário interno a instituição quanto aos aspectos externos.

Os agrupamentos das cargas fatoriais, formados em cada momento da aplicação PCA, possibilitaram classificações como: Formação Acadêmica, Formação Profissional e Gestão do Ensino Superior. Pode-se destacar a importância do papel das coordenações refletida na significância dada à gestão do ensino superior. A análise dos resultados aponta para a existência de uma relação entre os métodos de gestão no ensino superior, em que foi possível constatar que a Gestão do Ensino Superior encontra-se mais voltada para a formação acadêmica do que para a formação profissional. Isto corrobora a possibilidade de fazer inferências avaliativas sobre as ações e os métodos de gestão, por meio dessa ferramenta. Dessa forma, pode-se fundamentar possíveis intervenções que visem a melhoria do ensino e da aprendizagem nos cursos de formação em tecnologia e engenharia.

Quanto à análise referente aos métodos tensoriais, observou-se que o modelo PARAFAC não se adequou a uma forma simplificada para a análise dos dados, não permitindo, assim, um ajuste satisfatório dos critérios de convergência do modelo para baixos valores de *rank*. O modelo apresentou divergência nos processos de minimização dos erros de estimação, provavelmente em virtude da quantidade limitada dos dados disponíveis das enquetes realizadas.

Isto fez com que a análise tensorial tenha se concentrado na utilização do modelo Tucker3, conforme descrito no capítulo 5. Embora os resultados obtidos apresentem algumas similaridades em relação àqueles obtidos com a aplicação do modelo PCA, o modelo Tucker3 favoreceu à formação de apenas dois agrupamentos. Isto sinalizou, positivamente, na direção de possíveis análises de informações que não tinham ficado claras nas análises de PCA.

A utilização da estrutura multilinear do modelo Tucker3, refletiu-se em uma forma mais completa de análise dos dados do que o modelo PCA. Essa relação pode ser observada quando

se analisou as três aplicações do modelo PCA para diferentes estruturas da base de dados coletadas, enquanto o modelo Tucker3 utiliza toda a base de dados, considerando todas as relações existentes entre as componentes extraídas pelo modelo.

Conforme foi destacado no Capítulo 2, os indicadores externos dos cursos são peças fundamentais para a análise da qualidade das condições de formação acadêmica dos estudantes. Dessa forma, os indicadores gerados pelo modelo Tucker3 se mostraram adequados as subcategorias presentes no Conceito Preliminar de Curso (CPC), o qual é um indicador que relaciona três dimensões: (i) avaliação do estudante através do ENADE, (ii) o corpo docente, e (iii) as condições para que o processo formativo aconteça. Podendo-se concluir que os resultados obtidos pelo modelo Tucker3 são os mais fidedignos a atual realidade das avaliações externas no contexto brasileiro, .

Frente ao exposto, ficou claro que os métodos de análise apresentados (Matriciais: PCA e Tensoriais: Tucker3), podem contribuir como suporte à gestão do ensino superior, permitindo a extração de informações significativas para intervenções voltadas à melhoria da qualidade da formação acadêmica e profissional, o que possibilita a constatação de que os objetivos iniciais da pesquisa foram alcançados em sua grande maioria.

6.2 Perspectivas

Tem-se consciência que ainda há trabalho a ser feito. Por exemplo, o banco de dados devia ser mais maior. Mesmo assim, o pequeno volume de dados reunidos mostrou-se consistente e representativo, segundo os parâmetros adotados. Então, propõe-se que sejam realizadas novas rodadas de aplicação do instrumento de enquete, na intenção de que os professores sejam estimulados a respondê-lo, tanto no formato eletrônico quanto de forma impressa. Destaca-se, contudo, a consistência apresentada pelo número reduzido de amostras, indicando estar se trabalhando no caminho certo.

Os resultados da pesquisa podem ser verificados, ou até mesmo ampliados, por meio da aplicação em outros cursos e contextos de ensino superior, como, por exemplo, em universidades estaduais, é desejável, haja vista estarem submetidas aos mesmos processos avaliativos externos. Isto para que se possa aferir os padrões identificados na amostra inicial. Dessa forma, seria interessante buscar, uma possível relação entre os métodos de gestão do ensino superior, nos mais diversos contextos, para fins de avaliação unificada no território nacional.

Existe ainda a possibilidade de análise de um maior número de cursos, inclusive de outras áreas e de outras unidades acadêmicas; subsídios para reformulação de políticas voltadas para a diminuição da evasão e da repetência que, conforme foi visto, é um desafio a ser superado pela

área, contribuindo para a intervenção no que diz respeito ao sucesso acadêmico do formando; estudo da relação dos resultados encontrados com os índices calculados por avaliações externas; adaptação do instrumento para a aplicação com os alunos dos cursos, visando identificar a visão do formando frente aos métodos de gestão; aplicação de outros modelos matemáticos, sejam lineares ou não-lineares que possam ampliar exploração das informações intrínsecas dos dados, para a caracterização dos contextos em análise.

REFERÊNCIAS

- ABMES, A. B. de M. do E. S. Funções do coordenador de curso: Como construir o coordenador ideal. **Nota Técnica**, 2013.
- ACAR, E.; AMTEGE, S. A. C.; KRISHNAMOORTHY, M. S.; YENER, B. Modeling and multiway analysis of chatroom tensors. In: **Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics, Lecture Notes in Comput. Sci.** Springer, 2005. p. 256–268.
- ACAR, E.; AMTEGE, S. A. C.; YENER, B. Collective sampling and analysis of high order tensors for chatroom communications. In: **Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics, Lecture Notes in Comput. Sci.** Springer, 2006. p. 213–224.
- ALBUQUERQUE, M. Z. S. de; LIMA, A. A. M. Avaliação, gestão e estratégias educacionais: Projetos e processos inovadores em organizações. In: ____: Edições UFC, 2008. cap. Marketing e Avaliação Institucional: Contribuindo para o Desenvolvimento e Aprimoramento da Gestão Nas Universidades Instaladas no Ceará.
- ANDRIOLA, W. B. Evaluación: la vía para la calidad educativa. **Ensaio. Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, v. 7, n. 25, p. 355–368, 1999.
- ANDRIOLA, W. B. Avaliação diagnóstica dos egressos de 2003 e 2004 dos cursos de graduação da universidade federal do ceará (ufc). **Avaliação - Revista da Rede de Avaliação Institucional da Educação Superior**, v. 11, n. 4, p. 129–152, dezembro 2006.
- ANDRIOLA, W. B. Analizar a equidade do processo de avaliação do aprendizado discente. **Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa**, 2008.
- ANDRIOLA, W. B. Fatores institucionais associados aos resultados do exame nacional de desempenho estudantil (enade): estudo dos cursos de graduação da universidade federal do ceará (ufc). **Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación (RINACE)**, v. 7, n. 1, 2009.
- ANDRIOLA, W. B. Psicometria moderna: características e tendências. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 20, n. 43, maio, agosto 2009.
- ANDRIOLA, W. B.; ANDRIOLA, C. G.; LIMA, A. S.; SILVA, J. C. Desenvolvimento de um protótipo de sistema informatizado para avaliação da atuação do docente universitário. **Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa**, v. 5, n. 2, p. 198–216, 2012.
- ANDRIOLA, W. B.; MCDONALD, B. C. **Avaliação: Fiat Lux em Educação**: Ed. UFC, 2003.

- BAZZO, W. A pertinência da abordagem cts na educação tecnológica. **Revista Ibero Americana de educação**, n. 28, 2002.
- BAZZO, W. A. **Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica**. 3. ed.: Ed. da UFSC, 2011.
- BERRENDERO, J.R.; JUSTELA, A.; SVARC., M. Principal components for multivariate functional data. **Computational Statistics and Data Analysis**, v. 55, p. 2619 – 2634, 2011.
- BISQUERRA, R.; SARRIERA, J. C.; MARTÍNEZ, F. **Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS Tradução: Fátima Murad**. Revisada: Artmed, 2004.
- BOGOYA, J. D.; BOGOYA, J. M. Un modelo matemático para el valor académico agregado: Caso de la educación superior en colombia. **Ingeniería e Investigación**, v. 33, p. 76–81, 2013.
- BRASIL. Lei de diretrizes e bases da educação nacional anterior 4024/61. n. 4024/61, 1961.
- BRASIL. Constituição nacional. 1988.
- BRASIL. Regulamenta o sinaes 9131/95. n. 9131/95, 1995.
- BRASIL. Lei de diretrizes e bases da educação nacional 9394/96. n. 9394/96, 1996.
- BRASIL. Lei que institui o sistema nacional de avaliação da educação superior - sinaes 10861/2004. n. 10861/2004, 2004.
- BRASIL. Plano nacional de educação pne 13005/14. n. 13005/14, 2014.
- BRASIL MEC, Documento Introdutório do SINAES. Sistema nacional de avaliação da educação superior (sinaes): bases para uma nova proposta da educação superior. 2003.
- BRUNS, R. E.; FAIGLE, J. F. G. Quimiometria. **Revista Química Nova**, v. 8, n. 84, 1985.
- CALDEIRA, A. C. M. Avaliação da aprendizagem em meios digitais: novos contextos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA, 2004. v. 11 Congresso Internacional de Educação a Distância.
- CARVALHO, D. M.; PEREIRA, F. A. A.; OLIVEIRA, V. F. de. Formação em engenharia no brasil: Distribuição regional de vagas e cursos comparados à população e ao pib. In: CONGRESSO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA - COBENGE. **Anais do XL COBENGE**: Associação Brasileira de Educação de Engenharia - ABENGE, 2012.
- CATTELL, R. B. The scree test for the number of factors. **Multivariate Behavioral Research**, v. 1, n. 2, p. 245–276, 1966.
- CAVALCANTE, S. M. A. **Avaliação da Eficiência Acadêmica dos Cursos de Graduação da Universidade Federal do Ceará (UFC): Utilização de Indicadores de Desempenho como Elementos Estratégicos de Gestão**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-graduação em Educação Brasileira da Universidade Federal do Ceará, 2011.
- CHAEA, S. S.; WARDEB, W. D. Effect of using principal coordinates and principal components on retrieval of clusters. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 50, p. 1417 – 2006, 2006.

CICHOCKI, A.; MANDIC, D.; PHAN, A. H.; CAIAFA, C.; ZHAO, G. Zhou Q.; LATHAUWER, L. De. Tensor decompositions for signal processing applications: From two-way to multiway component analysis. **Preprint of feature paper which will be published in the IEEE Signal Processing Magazine (2014)**, 2014.

CICHOCKI, A.; ZDUNEK, R.; PHAN, A. H.; AMARI, S. **NONNEGATIVE MATRIX AND TENSOR FACTORIZATIONS**, 2009. ISBN 978-0-470-74666-0.

CREMASCO, M. A. A responsabilidade social na formação de engenheiros. In: _____. 1. ed.: Editora Petrópolis, 2009. v. 7, cap. Responsabilidade social das empresas, p. 17–42.

CRONBACH, L. J. Coeficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, v. 16, p. 297–334, 1951.

DAGNINO, R. **Neutralidade da Ciência e Determinismo Tecnológico**: Editora da UNICAMP, 2008.

DE LATHAUWER, L.; CASTAING, J. Tensor-based techniques for the blind separation of ds-cdma signal. **Signal Process**, n. 87, p. 322–336, 2007.

DE LATHAUWER, L.; VANDEWALLE, J. Dimensionality reduction in higher-order signal processing and rank- (r_1, r_2, \dots, r_N) reduction in multilinear algebra. **Linear Algebra Appl.**, n. 391, p. 31–35, 2004.

DIAZ, G. A.; ROMERO, A. A.; MOMBELLO, E.; FURLAN, N. Forecasting of the transformer core destruction factor by means of multivariate methods for data analysis. **IEEE Latin America Transactions**, v. 11, n. 2, February 2013.

GILAT, A. **MATLAB com aplicações em engenharia. Tradução: Glayson Eduardo de Figueiredo**. 2. ed.: Bookman, 2006.

GOMEZ, J.; LEON, E.; CUBIDES, C.; RODRIGUES, A.; MERECHA, J.; RUBIANO, J. C. Evolución de las metodologías de enseñanza y evaluación: la experiencia del curso de programación de computadores en la universidad nacional de colombia. **Ingeniería e Investigación**, v. 34, p. 85–89, 2014.

GREEN, P. E. **Multivariate Data Analysis**: Cengage Learning, 2011.

HARMAN, H. H. **Modern Factor Analysis**: The University of Chicago Press, 1968.

HOFFMAN, K.; MAYAS, C.; KROMKER, H. Study time and overload in engineering education. In: IEEE. **IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**, 2011.

HORNQUIST, M.; HERTZ, J.; WAHDE, M. Effective dimensionality of large-scale expression data using principal component analysis. **BioSystems**, v. 65, 2002.

HORTA NETO, J. L. Um olhar retrospectivo sobre a avaliação externa no brasil: das primeiras medições em educação até o saeb de 2005. **Revista Iberoamericana de Educación**, n. 42, abril 2007.

INEP/MEC. **Nota Técnica - Procedimentos de Calculo do ENEM**. http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem, Dezembro 2011.

INEP/MEC. **Edital No. 12, de 8 de Maio de 2014.**

http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem, Maio 2014.

INEP/MEC. **Nota Técnica 71 - Calculo do Conceito ENADE 2013.**

<http://portal.inep.gov.br/educacao-superior/indicadores/notas-tecnicas>, Outubro 2014.

INEP/MEC. **Nota Técnica 72 - Calculo do Conceito Preliminar de Curso 2013.**

<http://portal.inep.gov.br/educacao-superior/indicadores/notas-tecnicas>, Outubro 2014.

INEP/MEC. **Nota Técnica 73 - Calculo do Índice Geral de Cursos Avaliados da Instituição 2013.** <http://portal.inep.gov.br/educacao-superior/indicadores/notas-tecnicas>, Outubro, Dezembro 2014.

KOLDA, T. G.; BADER, B. W. Tensor decompositions and applications. **SIAM Review**, v. 51, n. 03, p. 455–500, 2009.

KRAUSE, L. H.; FRANZ, A.; STEVENSON, A. On the application of exploratory data analysis for characterization of space weather data sets. **Advances in Space Research**, v. 47, p. 2199–2209, 2011.

KROONENBERG, P. M. **Applied Multiway Data Analysis**, 2008. (Wiley Series in Probability and Statistics).

LAGROSEN, S.; SEYYED-HASHEMI, R.; LEITNER, M. Examination of the dimensions of quality in higher education. **Quality Assurance in Education**, v. 12, n. 2, p. 61–69, 2004.

LAGUADOR, J. M. Engineering students academic and on the job traing performance apprasail analysis. **International Journal of e-Education, e-Management and e-Learning**, v. 3, n. 4, 2013.

LAYTON, D. Revaluating the t in sts. **International Journal of Science Education**, v. 10, n. 4, p. 367–378, 1988.

LU, B.; PANDOLFO, L. Quasi objective nonlinear principal component analysis. **Neural Networks**, v. 24, p. 159–170, 2011.

MARCHELLI, P. S. O sistema de avaliação externa dos padrões de qualidade da educação superior no brasil: considerações sobre os indicadores. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, v. 15, n. 56, p. 351–372, 2007.

MARQUESIN, D. F. B.; PENTEADO, A. F.; BAPTISTA, D. C. O coordenador de curso da instituição de ensino superior: Atribuições e expectativas. **Revista de Educação**, v. 11, n. 12, 2008.

MOITA NETO, J. M. Estatística multivariada na pesquisa. **Sapiência**, v. 5, 2009.

NUNES, A. O.; SILVA, T. E. V. da; MOTA, J. C. M.; ALMEIDA, A. F. L.; ANDRIOLA, W. B. Analyzing the quality of the engineering courses management using information processing based on multivariate statistics: A case study under the professors' perspectives. In: IEEE. **Frontiers in Education Conference (FIE) in Oklahoma City**. DOI 10.1109/FIE.2013.6684810, 2013. p. 175–178.

NUNES, A. O.; SILVA, T. E. V. da; MOTA, J. C. M.; ALMEIDA, A. F. L.; ANDRIOLA, W. B. Principal components analysis for instrument validation: Assessing academic management in systems and digital media and engineering courses. novembro 2014.

NUNES, A. O.; SILVA, T. E. V. da; MOTA, J. C. M.; ALMEIDA, A. F. L.; ANDRIOLA, W. B. Developing an instrument for assessment of academic management in engineering courses. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 1, Janeiro 2015.

OLIVEIRA, V. F.; ALMEIDA, N. N.; CARVALHO, D. M.; PEREIRA, F. A. A. Um estudo sobre a expansão da formação em engenharia no brasil. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 32, p. 29–44, 2013.

OLIVEIRA, V. F. de; ALMEIDA, N. N. de; CARMO, L. C. Scavarda do. Estudo comparativo da formação em engenharia: Brasil, brics e principais países da ocde. In: CONGRESSO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA - COBENGE. **Anais do XL COBENGE**: Associação Brasileira de Educação de Engenharia - ABENGE, 2012.

ORIGINLAB. **Origin 8 User Guide**. 1. ed., 2007.

OWLIA, M. S.; ASPINWALL, E. M. A framework for the dimensions of quality in higher education. **Quality Assurance in Education**, v. 4, n. 2, p. 12–20, 1996.

PASQUALI, L. **Análise Fatorial para Pesquisadores**: LabPAM-Saber e Tecnologia, 2012.

REYES, A. J. O.; GARCÍA, A. O.; MUE, Y. L. System for processing and analysis of information using clustering technique. **IEEE Latin America Transactions**, v. 12, n. 2, March 2014.

ROCHA, A. J. F.; SILVA, G. T. da; MARMO, A. M. C. B.; DURO, M. A. S.; MIRANDA, L. F. de; OLIVEIRA, Y. M. B. M. de. Engenharia, origens e evolução. In: CONGRESSO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA - COBENGE. **Anais do XXXV COBENGE**: Associação Brasileira de Educação de Engenharia - ABENGE, 2007.

ROMPELMAN, O. Avaliação do aprendizado: a evolução dos objetivos no ensino da engenharia e suas consequências no tocante a avaliação. In: FUNDAÇÃO VAZOLINI - EAD. **Teleconferência Reforma da Educação e Renovação Pedagógica nas Engenharias**, 1999.

SAAD, D. S. **Aplicação de Técnicas Estatísticas Multivariadas em Dados de Cerâmica Vermelha Produzida na Região Central do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Programa e Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

SANMARTIN, L. P. M. M. estudios sobre sociedad y tecnología. In: _____. Universidade del país vasco vivcaya: J. Sanmartin and S. H. Cutcliffe and S. L. Goldman and M. Medina, 1992. cap. História de la Técnica: ¿Qué és? ¿En qué contribuye a clarificar las relaciones entre tecnología y sociedad? ¿Cuáles son sus limitaciones? ¿Hay alternativas?

SASS, O.; MINHOTO, M. A. Indicadores e educação no brasil: A avaliação como tecnologia. **Constelaciones - Revista de Teoria Crítica**, n. 2, p. 232–252, Dezembro 2010.

SCHUWARTZMAN, S. The future of higher education in brazil. In: **Woodrow Wilson Internacional Center for Scholars, washington - D.C.**, 1992.

SCRIVEN, M.; STUFFEBEAN, D. **Avaliação educacional II: perspectivas, procedimentos e alternativas**: Vozes, 1978.

SHASHUA, A.; LEVIN, A. Linear image coding for regression and classification using the tensor-rank principle. In: **Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, 2001. p. 42–49.

SIDIROPOULOS, N.; BRO, R.; GIANNAKIS, G. Parallel factor analysis in sensor array processing. **IEEE Trans. Signal Process**, n. 48, p. 2377–2388, 2000.

SIDIROPOULOS, N.; GIANNAKIS, G.; BRO, R. Blind parafac receivers for ds-cdma systems. **IEEE Trans. Signal Process**, n. 48, p. 810–823, 2000.

SILVA FILHO, R. L. L.; MOTEJUNAS, P.R.; HIPÓLITO, O.; LOBO, M. B. C. M. A evasão no ensino superior brasileiro. **Cadernos de Pesquisa [online]**, v. 73, n. 132, p. 641 – 659, 2007.

SILVA, J. G. B. da. **Aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA) no Diagnóstico de Defeitos em Rolamentos Através da Assinatura Elétrica de Motores de Indução**. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Itajubá, 2008.

SILVA, M. G. L. da. **Repensando a Tecnologia no Ensino de Química do Nível Médio**: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009. ISBN 978-85-7273-500-1.

SILVA, T. E. V. da; VASCONCELOS, F. H. L.; ALMEIDA, A. L. F. de; MOTA, J. C. M. Multivariate analysis for the students evaluation of teaching effectiveness in teleinformatics engineering. In: **IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)**, 2012.

SILVEIRA, M. A. **A formação do engenheiro inovador: uma visão internacional**: PUC-RioSistema Maxwell, 2005.

SMILDE, A.; BRO, R.; GELADI, P. **Multi-way Analysis with Applications in the Chemical Sciences**, 2004. ISBN 0-471-98691-7.

STRIEDER, R. B. **Abordagens CTS na educação científica no Brasil: sentidos e perspectivas**. Tese (Tese) — Doutorado em Ensino de Física - Ensino de Ciências Física, Química e Biologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TABACHNICK, B.G.; FIDELL, L.S. **Using Multivariate Statistics**: Allyn and Bacon, 2001.

TUCKER, L. R. Some mathematical notes on three-mode factor analysis. **Psychometrika**, v. 31, n. 3, p. 279–311, 1966.

TYLER, R. W. General statement on evaluation. **Journal of Education Research**, v. 35, p. 492 – 501, 1942.

TYLER, R. W. Evaluation models. In: ____: Kluwer-Nijhoff Publishing, 1993. cap. A Rationale for Program Evaluation.

UFC, Universidade Federal do Ceará. Regimento geral da ufc, e as devidas alterações 2008, 2009, 2010, 2011, 2013. 1982.

UFC, Universidade Federal do Ceará. Plano de desenvolvimento institucional 2007 2011. 2007.

UFC, Universidade Federal do Ceará. **Anuário Estatístico 2014 - Base 2013**, 2014.

UNESCO. The role of student affairs and services in higher education for developing, implementing and assessing student affairs programmes and services. In: **follow-up to the world conference on Higher Education**: Retrieved from: <http://unesco.org/images/0012/001281/128118e.pdf>, 1998.

VALOI, I. F. **Competências do Gestor Educacional: Um Estudo Qualitativo em Três Cursos de Administração Vinculados a Instituições de Ensino Superior Localizados no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Administração/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

VANGHESE, N. V. Higher education and development. **News Letter**, v. 25, n. 1, january-march 2007.

VASCONCELOS, F. H. L.; SILVA, T. E. V. da; ALMEIDA, A. L. F. de; ANDRIOLA, W. B.; MOTA, J. C. M. Multilinear decomposition application into students evaluation of teaching effectiveness. In: IEEE. **IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**, 2013. p. 910 – 916.

VASILESCU, M. A. O.; TERZOPOULOS, D. Multilinear analysis of image ensembles tensor faces. **7th European Conference on Computer Vision Lecture Notes**, p. 447–460, 2002.

VIANNA, H. M. **Avaliação Educacional**: IBRASA, 2000.

VICINI, L. **Análise multivariada de teoria à prática**. 2005.

***APÊNDICE A – Enquete impressa aplicada com os
professores do SMD***



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA
CAMPUS DO PICI, CAIXA POSTAL 6007 CEP 60.755-640
FORTALEZA – CEARÁ - BRASIL
FONE (+55) 85 3366-9467 – FAX (+55) 85 3366-9468
Internet: www.ppgeti.ufc.br E-mail: ppgeti@deti.ufc.br

Prezado(a) Professor(a),

Este é um estudo sobre a qualidade da gestão dos cursos de graduação na UFC. O estudo em questão é objeto de uma Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Teleinformática (PPGETI), que está sendo desenvolvida em parceria com o Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação, a fim de contribuir com o desenvolvimento dos cursos nessa IES, a partir do uso de ferramentas matemáticas e estatísticas tais como a álgebra multilinear e a análise fatorial.

Para o sucesso deste estudo é fundamental haver a participação do corpo docente naturalmente implicado que poderá fornecer dados, a partir de uma enquete, a qual conta com a anuência da diretoria do Instituto UFC Virtual da UFC.

Nesse âmbito, sua participação é de extrema relevância, pois objetiva-se verificar a opinião docente acerca da temática supracitada, associando-a a indicadores externos de qualidade de cursos de graduação com duração plena, empregados, atualmente, pelo INEP/MEC (disponível em <http://emec.mec.gov.br>). Ressaltamos que as respostas fornecidas serão usadas unicamente com a finalidade acadêmica desta tese, preservando o total sigilo das fontes de informação.

Desde logo agradecemos as importantes contribuições para esta pesquisa.

Cordialmente,

Prof. Albano Oliveira Nunes.

albanooliveirabr@yahoo.com.br

Doutorando – PPGETI/UFC, Nº de matrícula: 319247, Bolsista CAPES.

Prof. Dr. João Cesar Moura Mota
Orientador de Tese



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA
CAMPUS DO PICI, CAIXA POSTAL 6007 CEP 60.755-640
FORTALEZA – CEARÁ - BRASIL
FONE (+55) 85 3366-9467 – FAX (+55) 85 3366-9468
Internet: www.ppgeti.ufc.br E-mail: ppgeti@deti.ufc.br

Caro(a) Professor(a), esse instrumento busca identificar elementos, sob a ótica dos docentes, da prática de gestão educacional de cursos de graduação da Universidade Federal do Ceará – UFC, qual é exercida pela coordenação do seu curso através do seu coordenador. A escolha da opção de resposta deve refletir, de fato, o que ocorre no seu curso de graduação. Esclarecemos que todas as assertivas devem ser respondidas. Esta enquete não identifica o participante.

Nome do curso de graduação sob análise:

Caro(a) professor(a), o(a) senhor(a) encontra-se exercendo cargo de coordenador(a) de curso ou de chefia de departamento?

SIM

NÃO

A. A Coordenação do curso contribui com a formação acadêmica dos alunos, acompanhando seus desempenhos e auxiliando-os quando necessário.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

B. A Coordenação do curso contribui para que, alunos e professores, realizem o Projeto Político Pedagógico do Curso no que lhes cabe.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

C. A Coordenação do curso estimula os alunos a participar de eventos acadêmicos (congressos científicos, reuniões tecnológicas, atividades esportivas, extensionistas e/ou artísticas, etc.).

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

D. A Coordenação do curso esclarece os alunos acerca da importância em participar do Exame Nacional de Desempenho Estudantil (ENADE).

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

E. A Coordenação do curso discute os resultados do ENADE com a comunidade interna.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

F. A Coordenação do curso promove sistematicamente momentos de diálogos sobre a formação, o currículo e o mercado de trabalho.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

G. A Coordenação do curso incentiva os alunos a avaliarem os professores.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

H. A Coordenação do curso incentiva os alunos a avaliarem as disciplinas (ou módulos).

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

I. A Coordenação do curso contribui para que haja um clima acadêmico propício ao aprendizado significativo e duradouro por parte dos alunos.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

J. A Coordenação adota ações cabíveis para garantir a manutenção dos equipamentos de suporte específicos (computacionais, laboratoriais, etc.).

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

K. A Coordenação do curso procura manter o acervo bibliográfico atualizado e em condições de pleno uso por docentes e discentes.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

L. A Coordenação do curso contribui para o desenvolvimento dos estágios curriculares.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

M. A Coordenação do curso adota ações cabíveis para garantir a manutenção das instalações físicas utilizadas pelo curso.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

N. A Coordenação do curso tem reconhecida competência acadêmica.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

O. A Coordenação do curso tem reconhecida competência na gestão acadêmico-administrativa.

- Concordo totalmente
- Concordo fortemente
- Concordo
- Discordo
- Discordo fortemente
- Discordo totalmente

***APÊNDICE B – Pseudocódigos para a
implementação dos métodos matemáticos utilizados***

B.1 Pseudocódigo para implementação do PCA



Pseudocódigo – *Principal Component Analysis* (PCA)

```
// Análise das Componentes Principais, retorna a variância explicada, cargas e os dados transformados pelas cargas.
```

```
[varex, loads, scores] = ACP(mat)  
  corr_mat = CORRCOEF(mat); // retorna matriz de correlação de uma dada matriz  
  [loads, varex] = EIG(corr_mat); // retorna os autovalores e os autovetores  
  
  [varex] = DIAG(varex);  
  [varex, sorted_mat] = SORT_MAT( varex );  
  
  scores = PADRONIZAR(mat) * loads;  
  scores = scores * sorted_mat;  
  loads = loads * sorted_mat;
```

END

```
// Ordena um vetor e retorna além do vetor ordenar uma matriz cujas colunas são reorganizadas de acordo com o vetor, sempre de forma decrescente
```

```
[vet, sorted_mat] = SORT_MAT(vet)  
  sorted_mat = EYE(LENGTH(vet ));  
  FOR i = 1:length(vet) - 1  
    FOR j = (i+1):length(vet)  
      IF(vet(i) < vet(j))  
        temp = vet(i);  
        vet(i) = vet(j);  
        vet(j) = temp;  
  
        temp = sorted_mat(:, i);  
        sorted_mat(:, i) = sorted_mat(:, j);  
        sorted_mat(:, j) = temp;
```

END

END

END

END

```
// Retorna os dados padronizados, ou seja, centralizados ao redor da média
```

```
[result] = PADRONIZAR(mat)  
  centralizado = BSXFUN (@minus, mat, MEAN(mat));  
  result = BSXFUN(@rdivide, centralizado, STD(mat));
```

END

B.2 Pseudocódigo para implementação do PARAFAC



Pseudocódigo – *Parallel Factor Analysis* (PARAFAC)

```
[componentes, erro, tensor_est] = PARAFAC3 (tensor, rank, maximoLoop, taxa_erro)
dim = SIZE(tensor);
num_dim = LENGTH (dim);

x1 = MATRICIAR (tensor, 1);
x2 = MATRICIAR (tensor, 2);
x3 = MATRICIAR (tensor, 3);

b = RAND (DIM(2), RANK);
c = RAND (DIM(3), RANK);

cont = 0;
erro = taxa_erro + 1;
WHILE (cont < maximoLoop && erro >= taxa_erro)
    z = KHATRI (c, b);
    a = x1 * z * (z' * z) ^ (-1);

    z = KHATRI (c, b);
    b = x2 * z * (z' * z) ^ (-1);

    z = KHATRI (b, a);
    c = x3 * z * (z' * z) ^ (-1);

    x = a * KHATRI(c,b)';
    erro = NORM ( x1 - x, 'fro' ) ^ 2;

    cont = cont + 1;
END
tensor_est = FOLD (x, dim, 1);
componentes = {a, b, c};

erro = norm (x1 - x, 'fro') ^2;
END
```

B.3 Pseudocódigo para implementação do TUCKER3



Pseudocódigo – *Closed-Form Solution for TUCKER3 Decomposition*

```
[g, a, b, c, erro, cont, x] = TUCKER3_CLOSED (tensor, rank)
```

```
dims = SIZE(tensor);
```

```
b = RAND(dims(2), ranks(2));
```

```
c = RAND(dims(3), ranks(3));
```

```
cont = 0;
```

```
FOR i = 1:3
```

```
    x{i} = UNFOLD(tensor,i);
```

```
END
```

```
[a,~,~] = SVD (x{1}*(KRON (c,b)));
```

```
a = a(:,1:ranks(1));
```

```
[b,~,~] = SVD (x{2}*(KRON (c,a)));
```

```
b = b(:,1:ranks(2));
```

```
[c,~,~] = SVD(x{3}*(KRON (b,a)));
```

```
c = c(:,1:ranks(3));
```

```
g = a'*x{1}*(KRON(c,b));
```

```
x = MAKE_TENSOR_BY_TUCKER3({a,b,c},g);
```

```
x1 = UNFOLD(x,1);
```

```
erro = NORM(x1 - x{1});
```

```
END
```

```
END
```

APÊNDICE C – Bases de dados utilizadas

C.1 Base de dados dos respondentes dos cursos de engenharias (B_1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA

Doutorando: MS. ALBANO OLIVEIRA NUNES

Orientador: DR. JOÃO CESAR MOURA MOTA

Co-orientadores: DR. WAGNER BANDEIRA ANDRIOLA E DR. ANDRÉ LIMA FÉRRER DE ALMEIDA

Base de dados obtida das respostas dos cursos de engenharia (B₁)

Apêndice da Tese “Métodos Matriciais e Tensoriais como Suporte à Gestão nos Cursos de Engenharia e Sistemas e Mídias Digitais na Universidade Federal do Ceará (UFC)”

Nº	CURSO	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅
1	ENG. TELEINFORMÁTICA	4	4	3	4	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4
2	ENG. TELEINFORMÁTICA	3	4	4	4	3	3	3	4	2	5	3	3	4	4	3
3	ENG. TELEINFORMÁTICA	4	4	5	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
4	ENG. TELEINFORMÁTICA	4	4	6	6	3	4	4	6	6	3	6	5	5	3	3
5	ENG. TELEINFORMÁTICA	4	2	4	3	1	3	3	4	3	3	4	3	6	2	1
6	ENG. TELEINFORMÁTICA	3	3	3	3	1	1	1	3	4	4	1	3	4	1	1
7	ENG. TELEINFORMÁTICA	6	4	5	4	5	5	3	5	5	5	5	4	5	4	4
8	ENG. TELEINFORMÁTICA	6	5	5	6	5	4	4	4	6	5	4	6	4	4	5
9	ENG. TELEINFORMÁTICA	4	4	4	3	3	4	3	4	4	5	3	5	4	4	3
10	ENG. TELEINFORMÁTICA	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3
11	ENG. TELEINFORMÁTICA	3	4	2	3	4	4	2	2	5	6	4	4	6	3	2
12	ENG. ELÉTRICA	4	4	5	4	5	6	6	5	4	3	4	3	5	5	5
13	ENG. ELÉTRICA	3	2	4	5	1	2	2	1	1	1	3	1	5	3	4
14	ENG. ELÉTRICA	2	2	2	3	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3	2
15	ENG. QUÍMICA	6	5	5	4	3	6	6	4	4	4	2	4	5	4	4
16	ENG. QUÍMICA	5	4	4	4	3	3	5	4	4	4	4	3	4	4	3
17	ENG. QUÍMICA	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5
18	ENG. PROD. MECÂNICA	6	6	6	6	1	6	3	4	4	1	5	3	5	4	1
19	ENG. PROD. MECÂNICA	6	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
20	ENG. PROD. MECÂNICA	4	4	3	4	3	4	4	3	4	4	3	3	5	3	3
21	ENG. PESCA	4	4	3	4	3	4	3	3	1	1	4	1	4	3	3
22	ENG. PESCA	6	4	4	4	3	3	3	3	2	2	5	2	4	4	3
23	ENG. CIVIL	5	5	4	6	4	5	5	5	4	5	5	5	6	5	5

C.2 Base de dados dos respondentes do curso de sistemas e mídias digitais (B_2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA
Doutorando: MS. ALBANO OLIVEIRA NUNES
Orientador: DR. JOÃO CESAR MOURA MOTA
Co-orientadores: DR. WAGNER BANDEIRA ANDRIOLA E DR. ANDRÉ LIMA FÉRRER DE ALMEIDA
Base de dados obtida das respostas do curso de Sistemas e Mídias Digitais (B₂)
Apêndice da Tese “Métodos Matriciais e Tensoriais como Suporte à Gestão nos Cursos de Engenharia e Sistemas e Mídias Digitais na Universidade Federal do Ceará (UFC)”

Nº	CURSO	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅
1	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	6	6	6	6	6	3	6	6	6	6	6	6	6	6	5
2	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	5	4	6	5	5	6	5	5	4	3	4	6	3	6	4
3	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	6	4	4	4	3	5	6	6	4	3	6	5	4	4	6
4	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	6	4	4	4	5	4	4	4	4	5	5	5	4	4
5	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	4	5	3	3	5	6	6	3	4	4	3	5	4	5
6	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6	5	6	6	6	5
7	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	3	3	3	3	5	4	4	4	4	3	4	3	4	3
8	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	6	6	5	4	4	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6
9	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	6	5	6	6	4	3	4	5	4	4	4	3	5	6	4
10	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
11	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	4	6	4	4	5	4	4	5	6	4	6	6	4	4
12	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	4	5	3	1	4	6	3	4	5	5	4	5	6	4
13	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	4	5	3	4	5	5	5	3	2	3	3	3	4	4
14	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
15	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	5	6	4	4	6	6	5	6	4	5	6	5	4	6	4
16	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
17	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	3	4	3	2	2	4	5	5	4	5	4	5	4	6	5
18	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	4	5	6	6	5	6	4	6	5	6	5	5	6	6
19	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4	5	3
20	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	5	6	6	4	3	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6
21	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	5	5	5	4	4	6	6	6	5	3	3	5	2	6	5
22	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	4	2	3	3	3	6	6	2	3	3	6	3	4	4
23	SIST. E MÍDIAS DIGITAIS	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	4	3	4	4

APÊNDICE D – Artigos publicados/aceitos produto da tese

**D.1 Artigo aceito e publicado em anais de congresso -
Frontiers in Education (FIE- Oklahoma 2013)**

Analyzing the quality of the engineering course's management using information processing based on multivariate statistics: A case study under the professors' perspectives

Albano O. Nunes, Thomaz E. V. Silva, André L. F. Almeida and João C. M. Mota

Department of Teleinformatics Engineering

Federal University of Ceará

Ceará - Brazil

Email: albanooliveirabr@yahoo.com.br, thomazveloso@virtual.ufc.br, andre@gtel.ufc.br, mota@gtel.ufc.br

Wagner B. Andriola

Department of Fundamental Education

Federal University of Ceará

Ceará - Brazil

Email: andriola@ufc.br

Abstract—Processes and evaluation methods are gaining prominence in the social and educational contexts. In this context, it is proposed to contribute to the improvement of the higher education quality, through the analysis of information obtained in six engineering courses offered by the Federal University of Ceará. The study seeks to strengthen the interface among data analysis methods typically used of engineering contexts in order to allow the analysis of the relationship between academic management processes of engineering courses and outcomes from external evaluations. This discussion aims to propose a mathematical model to support the academic management, based on multivariate analysis (MVA) and data processing, such as Principal Component Analysis (PCA). The instrument created aims to identify professors' point of view about the management practices developed in their academic courses where they work. The application of the reliability tests revealed the suitability of the sample for the application of PCA. In the PCA application, we observed the formation of three responses' clusters, that has been well characterized by the similarity of their factor loadings that are related to students' academic education, academic formation processes and institutional environment. It should stand out even that the application of MVA showed strong evidence for a relationship among the methods of management in higher education, through the manifestation of latent variables in order to define a mathematical model based on MVA academic management support.

Index Terms—Courses' management, Factor analysis, Principal component analysis, engineering education.

I. INTRODUCTION

Nowadays, in Brazil we experienced an increase in the vacancies in courses in higher education. This demand has been followed by the need to develop processes and evaluation methods [1][2]. This interest gains strength in the Brazilian context of the current moment expansion of Higher Education

This work has been partially supported by CAPES, CNPq and BNB.

Institutions in the country. Thus, the necessity of a more effective evaluation of these institutions has been growing [7][8].

The assessment is used in order to provide input for the analysis and improvement of classes, projects, programs, and institutional processes even more complex systems, such as the education systems at various levels. Currently, we highlight some experiences of assessment in the context of engineering courses [1][3][13][14][15]. In this scenario, stocks and faculty members of educational administration should position themselves against these processes, remodeling ideas, techniques and criteria, to promote changes that characterize a new way to lead to the desired quality of education at all levels [9].

The Brazilian education is under a process of expansion within in Higher Education, and must find mechanisms that enable the "control" of teaching quality in order to verify that the goals set are being achieved and consequently to observe critically the training provided to professionals from several areas. In this study, we will investigate the process of formation of an engineer in the context of the Federal University of Ceará-UFC, located in northeastern Brazil.

The search for data/facts your organization in the form of structured information allows the identification of patterns and a qualitative/quantitative analysis that can generate proposals for intervention and produce positive results to the management in higher education. This view is gaining prominence both in relation to aspects of a quantitative but also qualitative. Thus, it is proposed, during the research, contribute to the analysis of information obtained in six university courses in engineering offered by the UFC that have undergone external evaluations in recent years. Aiming to this study to identify management practices and their consequent contributions in

quality indicators, especially in external indicators applied periodically by the government agencies.

In this research, we will investigate the potential for applying a mathematical tool of multivariate statistics, called Principal Component Analysis, in the assessment of undergraduate engineering on the teachers' perspective. It is expected to recognize patterns and determine significant clusters in the processing of information collected, enabling the identification of previously unknown relationships and contribute to the evaluation of undergraduate courses in general and also its possible application to the institutional evaluation and its consequent improvement of management methods.

II. EDUCATIONAL MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION

Institutions in a general way have been going through a process of renewal in their ways of acting in recent years, aiming to better meet this target audience. Educational institutions are not out of this process of renewal, and required changes in its management practices[4].

The educational management has a ratio of the areas of administration and education. However, there is a complexity arising from the need to manage processes related to teaching and learning in its several instances. There is a need for a multi-mode educational quality [10]. This research can contribute to address the existence of the relationship between quality and their indicators or indices, and this is supported by the analysis of the factors added to the process [11]. The educational management should add other knowledge to strengthening the interdisciplinary characteristics in the process of students' education.

Assessment in higher education can be used to verify other aspects beyond the institutional process of teaching and learning, such as: mission, institutional development plan, policy research, extension, graduate, social responsibility, human resources policies, physical and pedagogical infrastructure [4].

According to Ralph Tyler [5], evaluation and educational measure are distinct processes. The educational measure is important in the evaluation process, however we can not limit the assessment to only those aspects. Thus, we can gauge that the assessment now covers programs, curricula and educational systems and not just the assessment of student using the learning criteria. Featuring the model Tyler, the importance of goals in the evaluation process that guide and direct the assessment enabling decision making, from the reality/context of the program/course and their respective institutional function.

The assessment/evaluation from the Tyler's perspective [5][6], provides grants for a critical analysis of the institution, since from the assessment the institution may investigate the causes of ineffective elements, reorganize and readjust positive aspects of its operation. We also highlight important aspects of its assessment model, such as: interaction teacher/student, education as a process of creating standards of conduct, diversity of instruments in the evaluation process, among others.

Based on the assumptions presented, the evaluation of undergraduate courses on the UFC provide subsidies that con-

tribute to the improvement and constant pursuit of educational excellence desired by the educational institution as well as providing a better service to the society.

III. MULTIVARIATE ANALYSIS METHOD

In this research, the Principal Component Analysis (PCA) is used to analyze the relationships among the variables analyzed. The PCA is a multivariate statistics technique that aims to achieve a rank reduction of a dataset with $X_{m \times k}$ dimension into a new dataset with $X_{m \times p}$ dimension, where $p < k$. This new dataset has some important algebraic features such as orthogonality of column vectors, which characterizes the non-overlapping of information [16][17].

The decomposition of the original database into a new database with orthogonal properties, is given by the fact that the PCA be treated as a case of reduction of rank of a matrix using eigenvalue decomposition [17]. This decomposition brings with the possibility of extracting the most important factors of the original database in order that we can relate the relevance of information with the eigenvalue associated with it, called Principal Component - PC, ie, the larger the eigenvalue greater the importance of that information due to the original database. In this sense, there is a compression of information, called latent variables, without loss of relevant information, since the arising analysis should enable a connection with the original data in the process.

It is necessary to let two concepts very clear, the latent variable and manifest variable. The first one is widely used in social and behavioral sciences, concepts they are constructed with the purpose of a particular area of interest, on which there is no method to measure operational. Furthermore, the observed variables can be viewed as observable manifestations of latent variables, by which they are characterized [12].

IV. SCENARIO AND METHODOLOGY

This research was conducted in the Technology Center and the Center for Agricultural Sciences at Federal University of Ceará - UFC. We had a total of 6 courses that participated in this research, they are: Civil Engineering, Fisheries Engineering, Mechanical Production Engineering, Teleinformatics Engineering, Electrical Engineering and Chemical Engineering. The research seeks to identify the perspective presented by professors of engineering courses about procedures/methods/management actions in higher education in each of the courses. A total of 23 professors answered the research, which proved to be satisfactory for the results analysis. We seek to establish a relationship of the procedures/methods/actions and their respective concepts/grades/indicators achieved by courses in external evaluations.

A. Measurement Instrument

A formal instrument for obtaining the information from professors was developed in brazilian portuguese language (see Table I). This instrument consists of 15 statements and has as response, the level of agreement of the respondent's

TABLE I
INSTRUMENT FOR THE DATA COLLECTED.

1	The course's coordination contributes to the students academic formation, monitoring their performance and help them when needed.
2	The course's coordination contributes to students and teachers performed the Course Educational Policy Project on their part.
3	The course's coordination encourages students to participate in academic events (scientific conferences, meetings technology, sports activities, extension and/or artistic, etc).
4	The course's coordination explains the students about the importance of participating in the Brazil National Survey of Student Performance (ENADE).
5	The course's coordination discusses the results of ENADE with the internal community.
6	The course's coordination promotes, systematically, moments of dialogue about formation, curriculum and labor market.
7	The course's coordination encourages students to evaluate teachers.
8	The course's coordination encourages students to assess the disciplines (or modules) of the course.
9	The course's coordination contributes to providing a climate academic conducive to a meaningful and sustainable learning for the students.
10	The course's coordination takes reasonable actions steps to ensure the maintenance of support specific equipment (computational, laboratory, etc).
11	The course's coordination seeks to maintain bibliographic updated and able to the full use by teachers and students.
12	The course's coordination contributes to the development of curricular internships.
13	The course's coordination adopts reasonable actions steps to ensure the maintenance of the physical structure of the course.
14	The course's coordination has recognized academic competence.
15	The course's coordination have recognized competence in managing academic and administrative support.

using a six-point Likert scale (1-Totally disagree ... 6-Totally agree).

The availability of the instrument was made through an electronic address where teachers accessed and sent their responses by the website. For reasons of space, the questionnaire used in this study is not given here, but is available upon request.

B. Mathematical Modeling

The PCA was applied to analyze the interrelationships of management methods as a major factor in the performance of the courses on the results obtained on the external evaluations conducted primarily by the federal government.

C. Computational Tools

For the data treatment, we have used two computational tools: the MAtrix LABoratory - MATLAB[®] and the Statistical Package for Social Sciences - SPSS[®]. The decision to use both tools is due to the fact that the research has a hybrid character, seeking an interface between the methods of engineering, mathematics, statistics and education through the study of methods of educational management, especially with regard to the higher education.

V. RESULTS AND DISCUSSION

A. Validating the Results

1) *Cronbach's alpha*: In order to guarantee the reliability and internal consistency of the data, we applied the Cronbach's alpha index [15]. For the data set collected, the Cronbach's alpha was high at 0.9391, ensuring uniformity of data and validating the analysis.

2) *Kaiser-Meyer-Olkin and Bartlett's test*: The first step for the application of PCA is the verification of the sampling adequacy to use this technique. The tests of sample adequacy is the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) and Bartlett's Sphericity tests that check whether the data variables are correlated with each other, generating a hypothesis that the correlation matrix of the variables is the identity matrix, in this case we have uncorrelated variables [16]. The application of the tests validated the applicability of PCA in the dataset at a value of 0.684 for the KMO test and rejection of the hypothesis that the correlation matrix is the identity matrix was obtained by Bartlett's test [17].

B. Selecting the number of Principal Components

The Scree plot was used as a resource for obtaining the number of principal components to be used in this research, which presents a graphical view of the descending order of the eigenvalues in terms of the principal components [18].

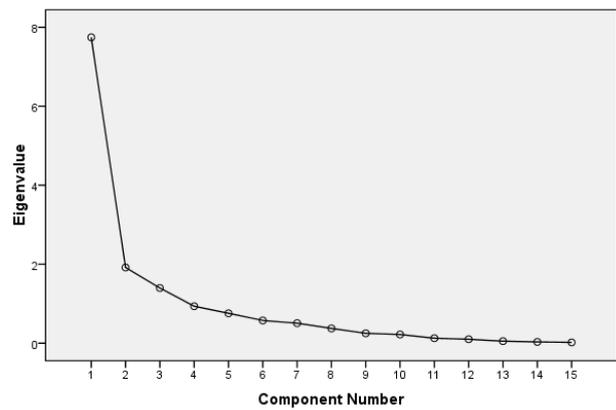


Fig. 1. Scree Plot.

Observing the behavior of Fig. 1, we realize that there is a decay curve of the graph line to its stabilization. This decay occurs abruptly until the second component, tending to stabilize on the following components. In this sense the graph suggest the extraction of the first two components and relating the eigenvalues observed we highlight that the first two components have a cumulative variance of the 64.411% over the representation of the original data. Percentage considered satisfactory for researchers.

C. Clustering Analysis through PCA

From the two principal components selected, we can see the relationships among the variables (questions) observed. Is worth noting that all questions are uncorrelated then the analysis will be done through the intrinsic information related to the original database.

Analyzing the Fig. 2, we can observe the formation of three clusters, well characterized by the responses' intrinsic correlations, however, we note the existence of two outliers (questions 10 and 13). The explanation for the occurrence of these outliers, may be linked to the fact that these issues have been understood as actions outside the jurisdiction of the course coordination.

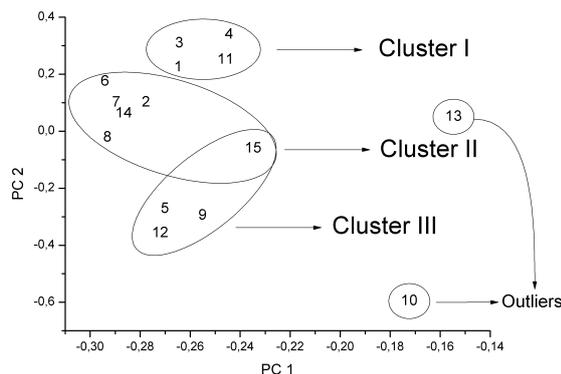


Fig. 2. Components Biplot.

Starting to the analysis of the clusters identified, it can be seen that in Cluster I, formed by the questions 1, 3, 4 and 11, which have in common the fact that they refer to the students' academic training. The Cluster II, formed by the questions 2, 6, 7, 8 and 14, point to the definition of a latency-related leadership the course coordination with regard to the assessment and management processes of academic training in higher education. Then, Cluster III (questions 5, 9 and 12) presents characteristics related to institutional environment facing the higher level training, ie describes the ambience of learning in the course's context.

We highlighted that the question 15 belongs to the Clusters II and III, this is due to the fact that it has an meaning hybrid, bringing leadership characteristics related to the the coordination regarding the academic and physical structure.

It is intended that these results can serve as support for educational planning and strategic decision-making in this field, seeking to contribute to the consolidation of the use of mathematical tools and its analysis applied to the educational context - the Educametrics [15][13], a term that still has been uncommon in the literature.

VI. CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS

The purpose of this research was the application of a technique for interrelationships analysis based on multivariate statistics on a dataset related to management engineering courses at the Federal University of Ceará Brazil.

The main results show the viability of using the PCA to analyze data of an educational nature, being the relevant information brought to the application of this technique. From the observed latent variables, we highlight the creation three clusters of responses that are related to the students' academic training, the leadership on the of the courses' coordination assessment and management processes of formation and the characteristics related to the institutional environment in the formation level.

As seen, we have evidence that there is a relationship among the methods of management in higher education, through the manifestation of significant latent variables. Showing that

there is the possibility of making inferences about the actions and methods of management and thus enable the delineation of interventions that may contribute to the improvement of teaching and learning in engineering courses.

This study has limitations regarding the small number of professors' respondents, which despite being small the whole dataset is adequate for analysis by PCA. As a future perspective, we emphasize the analysis of a higher number of courses that enable the analysis of the relationship of management processes with the index calculated by external evaluations.

REFERENCES

- [1] C. R. Smaill, G. B. Rowe, E. Godfrey and Rod O. Paton, "An Investigation Into the Understanding and Skills of First-Year Electrical Engineering Students." *IEEE Trans. on Educ.* vol. 55, no. 2, pp. 29-35, 2012.
- [2] H.-P. Yueh, T.-L. Chen, L.-A. Chiu, S.-L. Lee and A.-B. Wang, "Student Evaluation of Teaching Effectiveness of a Nationwide Innovative Education Program on Image Display Technology." *IEEE Trans. on Educ.* vol. 55, no. 3, pp. 365-369, 2012.
- [3] K. E. Merrick, "An empirical evaluation of puzzle-based learning as an interest approach for teaching introductory computer science." *IEEE Trans. on Educ.*, vol. 53, no. 4, pp. 677-680, 2010.
- [4] D. L. Stufflebeam and A. J. Shinkfield, "Evaluation: Theory, Models, and Applications". Wiley: San Francisco, 2007.
- [5] R. W. Tyler, "General Statement on Evaluation". *Journal of Education Research*, 35, pp. 492-501, 1942.
- [6] R. W. Tyler. "A Rationale for Program Evaluation". In: G. F. Madaus et al. "Evaluation Models". Viewpoints on Educational and Human Services Evaluation. Kluwer-Nijhoff Publishing: Boston, 1993.
- [7] S. Schwartzman. "The Future of higher Education in Brazil". Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington, D.C., 1992.
- [8] W. B. Andriola and B. C. McDonald, (Orgs.). "Avaliao: Fiat Lux em Educao". Editora UFC, Coleo Dilogos Intempestivos, Fortaleza, 2003.
- [9] H. M. Vianna. "Avaliao Educacional". IBRASA, So Paulo: 2000.
- [10] M. A. M. Lima, "Avaliao e Gesto Educacional: Fundamentos Histricos, Tericos e Conceituais". In M. A. M. Lima and T. de J. P. Maciel, (organizadores). Avaliao, Gesto e Estratgias Educacionais: Projetos e Processos Inovadores em Organizaes. Edies UFC: Fortaleza, 2008.
- [11] V. Sguissardi. "Universidade Brasileira no Sculo XXI: Desafios do Presente". Editora Cortez. So Paulo, 2009.
- [12] W. B. Andriola. "Psicometria moderna: caractersticas e tendncias". Estudos em Avaliao Educacional. v. 20, n. 43, maio/ago. So Paulo, 2009.
- [13] F. H. L. Vasconcelos, T. E. V. da Silva, W. M. dos Santos, A. L. F. de Almeida, W. B. Andriola and J. C. M. Mota, Multilinear Decomposition Application into Students' Evaluation of Teaching Effectiveness. *Proc. of IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, accepted for publication, Berlin, Germany, 2013.
- [14] A. O. R. Franco, T. E. V. da Silva, F. H. L. Vasconcelos and I. R. Paiva, Evaluating the Students' Perception of the Teaching Effectiveness in a Teleinformatics Engineering. *Proc. of IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, accepted for publication, Berlin, Germany, 2013.
- [15] T. E. V. Silva, F. H. L. Vasconcelos, A. L. F. Almeida and J. C. M. Mota, Multivariate analysis for the students' evaluation of teaching effectiveness in teleinformatics engineering. *Proc. of IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*. Hong Kong, 2012.
- [16] P. E. Green, Multivariate Data Analysis. *Cengage Learning*, 2011.
- [17] B.G. Tabachnick and L.S. Fidell, Using Multivariate Statistics. *Allyn and Bacon*, London, 2001.
- [18] Cattell, R. B. "The Scree Test for the Number of Factors." *Multivariate Behavioral Research*, vol. 1, no.2, pp. 245-276, 1966.

D.2 Artigo publicado na Revista *IEEE Latin America Transactions* - V. 13, N^o. 1

Tabela 13: Classificações Qualis da Revista *IEEE Latin America Transactions*

ISSN	ESTRATO	AREA DE AVALIACÃO
1548 0992	B2	ENGENHARIAS IV
1548 0992	B2	EDUCAÇÃO
1548 0992	B1	INTERDISCIPLINAR
1548 0992	B5	ENSINO
1548 0992	B5	CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
1548 0992	A2	ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO
1548 0992	B1	ENGENHARIAS I
1548 0992	B4	ENGENHARIAS II
1548 0992	B1	ENGENHARIAS III
1548 0992	B1	MATEMÁTICA ESTATÍSTICA PROPABILIDADE

Developing an Instrument for Assessment of Academic Management in Engineering Courses

A. O. Nunes, *Student Member, IEEE*, T. E. V. Silva, *Student Member, IEEE*, J. C. M. Mota, *Member, IEEE*, A. L. F. de Almeida, *Senior Member, IEEE*, and W. B. Andriola

Abstract— Higher education in Brazil been expanding in recent years, although, one of the major problems encountered have been the evasion and failure rates in general courses and specifically in engineering undergraduate courses. In this context, educational evaluation, with the goal of diagnosing needs for improvement, can contribute to the quality of higher education, regarding some aspects such as teaching methodology, human interrelationships in the teaching profession and academic management, among others. This study is based on the analysis of the development and subsequent implementation of an assessment tool that would enable the analysis of academic and administrative expertise of academic management. The instrument consists of a list of 15 statements related to aspects of higher education management, where the target audience of the research are the teachers of 6 engineering courses at Federal University of Ceará (UFC), indicating their degree of agreement with the statements. For the analysis, a multivariate statistical tool called Principal Component Analysis (PCA) was used. The results show the feasibility of PCA to analyze aspects of academic management, by explaining relevant information extracted from the latent variables of the data, which allowed us to identify a group of clusters related to management of higher education in engineering within the UFC. The study points to the use of this information in the future related to the contents of external assessments through more robust and detailed mathematical analysis tools.

Keywords— Courses' management, Principal component analysis, engineering education.

I. INTRODUÇÃO

ATUALMENTE, no contexto brasileiro, muitos cursos de Engenharia sofrem com altas taxas de evasão e reprovação [1]-[4]. Neste contexto, a avaliação educacional torna-se preponderante para a compreensão desses fenômenos e suas possíveis intervenções.

Estudos recentes avaliaram a qualidade do ensino no primeiro ano de um curso de engenharia, sob a ótica discente [5], [6]. Aspectos relacionados à metodologia do professor e a inter-relação humana na sala de aula, foram alguns dos pontos avaliados por essas pesquisas. Todavia é importante observar que todos os aspectos analisados permeiam o campo da subjetividade, muito embora ferramentas matemáticas mais

simples tenham sido utilizadas nas análises dos resultados.

Sob uma nova perspectiva, a gestão acadêmica tem papel fundamental para o direcionamento correto do ensino dos estudantes, com base nas políticas públicas vigentes [26]. Cabe a gestão dos cursos: regular, direcionar, apoiar e orientar os alunos ao longo de sua formação universitária nos limites de seus aspectos acadêmicos e administrativos [7].

Com base neste contexto, surge a necessidade de avaliar as competências acadêmicas e gerenciais das coordenações em cursos de engenharia no Brasil.

A gestão educacional é historicamente tratada de forma mais subjetiva, avaliando seus aspectos qualitativos. Contudo, este estudo busca contribuir para a análise do contexto educacional sob o viés quantitativo, sintonizando-se ao que vem ocorrendo com o desenvolvimento da chamada Educametria (do inglês *Educometrics*) [6], [8], [9].

Com o estabelecimento de indicadores internos de gestão, surge a possibilidade de utilizá-los como parâmetro de referência na formação de profissionais no campo da engenharia por parte da Instituição de Ensino Superior (IES), buscando as possíveis relações com os indicadores externos de qualidade oficiais do governo federal brasileiro, tais como o Exame Nacional do Ensino Superior (ENADE).

Este trabalho tem como principais contribuições:

- o desenvolvimento de um instrumento de avaliação que visa contribuir com a melhoria da qualidade da gestão acadêmica em cursos de engenharia no Brasil;
- a abertura de precedentes para a análise de indicadores educacionais internos comparando-os com os indicadores externos.

Para analisar o instrumento criado, fez-se uso da Análise de Componentes Principais (do inglês *Principal Component Analysis* - PCA) com a finalidade de verificar a existência de possíveis estruturas latentes nas variáveis consideradas, ou seja, identificar características não medidas de forma direta pelo instrumento, mas que possam estar implícitas e serem representadas por padrões de dados. Dessa forma, as variáveis podem ser agrupadas e assim estabelecer novos indicadores para avaliação educacional.

A escolha do PCA como ferramenta de análise estatística para este estudo se deu pelo fato de sua ampla e consolidada utilização em diversos campos das engenharias [10]-[13], e por se tratar de um trabalho no campo de análise de dados. Essa técnica surgiu na psicometria para a validação de instrumentos de avaliação e até hoje é utilizada para esse fim [14], [15]. O PCA tem algumas características associadas à estrutura dos sistemas ou processos e pode ser utilizado, dentre outras formas, para: reduzir o posto de uma matriz;

A. O. Nunes, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil, albanooliveirabr@yahoo.com.br.

T. E. V. Silva, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil, thomazveloso@virtual.ufc.br.

J. C. M. Mota, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil, mota@gtel.ufc.br.

A. L. F. Almeida, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil, andre@gtel.ufc.br.

W. B. Andriola, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil, w_andriola@ufc.br.

selecionar os fatores mais importantes de uma base de dados; reconhecer padrões; identificar *outliers*; e descorrelacionar as variáveis analisadas, minimizando as redundâncias de informação da base de dados.

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um instrumento de avaliação que proporcione a análise das competências da gestão acadêmica. Dessa forma, buscou-se investigar a aplicabilidade do PCA para obtenção de indicadores educacionais referentes à gestão de cursos e a formação de profissionais de engenharia no âmbito da Universidade Federal do Ceará (UFC).

II. GESTÃO NO ENSINO SUPERIOR

Atualmente, as IES no Brasil vêm passando por um processo de renovação e de mudanças em suas formas de atuação, com o propósito de melhorar seu atendimento à sociedade [16]. Para tanto, tornam-se necessárias intervenções em vários aspectos, sendo as práticas de gestão, uma delas [17]. Este movimento parece estar em consonância com tendências mundiais, no qual a universidade vem assumindo um papel de destaque também no que diz respeito ao gerenciamento dos processos de desenvolvimento como um todo, indo além de mera formulação de ideias, acúmulo e transmissão de conhecimento [18].

Nessa perspectiva, é necessário que se tenha clareza que a gestão educacional possui suas bases em várias áreas, dentre elas pode-se mencionar a administração universitária e a própria educação. Assim, um dos atores responsáveis pela condução do processo de gestão é a coordenação de curso [19]. Essa característica atribui um grau maior de complexidade a atividade desses profissionais, decorrente da necessidade de gerenciar processos de ensino e aprendizagem nas diversas instâncias educacionais, desde o seu planejamento (pedagógico, estrutural, financeiro), até sua avaliação [20]. Portanto, a gestão do ensino superior possui características multimodais e aliada aos processos avaliativos pode contribuir para a melhoria da qualidade educacional no que diz respeito à formação de nível superior [21].

A gestão educacional envolve os mais diversos conhecimentos, fortalecendo suas características interáreas, buscando contribuir de forma mais efetiva no processo formativo no nível superior, corroborando com os objetivos deste estudo. Em meio a estes conhecimentos, que devem dar suporte à gestão, encontra-se a avaliação do ensino superior, a qual pode ser utilizada para verificar os mais diversos aspectos, indo além do processo meramente institucional de ensino e aprendizagem, tais como: missão, plano de desenvolvimento institucional, pesquisa política, extensão, pós-graduação, responsabilidade social, políticas de recursos humanos, infraestrutura física, material e pedagógica [17].

Dessa forma, pode-se verificar que a avaliação passa a ser mais significativa quando considera também a análise de programas, currículos e sistemas de ensino, indo além da medição do desempenho do aluno, no que diz respeito à verificação da aprendizagem do educando/formando. Com a visão posta por Tyler [22], é atribuído um grau de importância maior aos objetivos do processo de avaliação, sendo esses

utilizados para fundamentar e direcionar a tomada de decisão, em fases posteriores das ações. Isto confere à avaliação aspectos paramétricos para intervenção na realidade/contexto do programa/curso, na intenção de desenvolver uma melhor função na instituição.

Ainda segundo Tyler [22], [23], a avaliação pode oferecer subsídios para uma análise crítica do ponto de vista da instituição, possibilitando uma investigação dos elementos ineficazes, reorganizando e reajustando os aspectos positivos de seus processos. Ainda sobre este modelo, alguns aspectos merecem destaque: interação professor/aluno, a educação como um processo de criação de normas de conduta, a diversidade de instrumentos no processo de avaliação, entre outros.

Com base nos pressupostos apresentados, a avaliação da gestão dos cursos de graduação em engenharia da UFC, pode fornecer subsídios para melhoria da qualidade dos cursos e de seus egressos e possibilitar a adoção de estratégias visando uma redução nas taxas de evasão e reprovação.

III. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Neste trabalho foi utilizado o método de Análise de Componentes Principais (PCA), para avaliação e validação de um instrumento que extrai informações sobre a gestão dos cursos de Engenharia da UFC. O PCA é um método de estatística multivariada que reduz o espaço de representação de medidas de informações contidas em dados, cujos efeitos mais significativos são preservados em relevâncias nos espaços mantidos para a análise. O processo se dá pelo descarte de espaços com pouca energia existentes na representação das características contidas nos dados em análise, não considerando, portanto, medidas de informações redundantes ou desprezíveis.

O PCA é utilizado para analisar as relações integradas dos dados obtidos a partir de medidas estatísticas, buscando identificar padrões, possíveis inferências e classificações no conjunto de dados estudado. Neste trabalho, parte-se de uma base de dados na forma matricial $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1 | \dots | \mathbf{x}_i | \dots | \mathbf{x}_P]_{M \times P}$, na qual \mathbf{x}_i , $i \in [1 P]$, é um vetor coluna cujas M componentes são os dados observados. Procura-se relacionar as entradas de \mathbf{X} , através da formação de medidas de covariância ou de correlação dos dados. Este novo conjunto de informações, formado a partir do conjunto de dados original, tem algumas características algébricas importantes, que possibilita uma melhor análise sobre os dados em si, dos quais se pode citar a retirada de características redundantes e/ou com energia desprezível [24], [25].

A análise baseada em PCA neste trabalho, parte da matriz de coeficientes de correlação, a qual destaca as relações dos dados em um domínio de observação, representado pelas P colunas linearmente independentes da matriz \mathbf{X} , supondo que $P < M$. Isto indica a Matriz \mathbf{X} possui posto completo P .

Vale ressaltar que o autovetor associado ao maior autovalor representa a direção de projeção com a maior intensidade de informações, do conjunto de dados original.

O método PCA é calculado a partir da base de dados

original, representado pela matriz \mathbf{X} , seguindo a sequência abaixo:

Algoritmo *PCA*

Considerando a Matriz $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1 | \dots | \mathbf{x}_i | \dots | \mathbf{x}_p]_{M \times P}$, formada pelos vetores dos dados observados $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_p$, em que P é a quantidade de assertivas.

(i). calcular a média amostral μ_i e a variância amostral s_i^2 da p -ésima variável:

$$\mu_p = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M x_{lp}, \quad (1)$$

$$s_p^2 = \frac{1}{(M-1)} \sum_{l=1}^M (x_{lp} - \mu_p)^2, \quad (2)$$

em que x_{lp} é o valor de \mathbf{x}_p na p -ésima observação, que compreende a assertiva avaliada pelos respondentes.

(ii). Calcular as entradas da Matriz de covariância amostral entre os vetores \mathbf{x}_j e \mathbf{x}_k , que reúnem os dados dos respondentes nas assertivas A_j e A_k , de acordo com a Tabela I:

$$c_{jk} = \frac{1}{(M-1)} \sum_{l=1}^M (x_{jl} - \mu_j)(x_{lk} - \mu_k), \text{ para } j, k = 1, \dots, P, \quad (3)$$

(iii). Calcular o coeficiente de correlação entre as assertivas A_j e A_k , considerando as equações (2) e (3):

$$r_{jk} = \frac{c_{jk}}{s_j s_k}, \quad (4)$$

(iv). Obter a matriz de coeficientes de correlação, daqui em diante denominada matriz de correlação

$$\mathbf{R}_{p \times p} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

em que $\mathbf{R}_{p \times p}$ é obtida a partir da equação (4)

(v). A partir da Decomposição em Autovalores (do inglês *Eigenvalue Decomposition* - EVD) de \mathbf{R} , obter as matrizes de autovalores e autovetores $\mathbf{\Lambda}$ e \mathbf{Q} , respectivamente:

$$\mathbf{\Lambda} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \lambda_p \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\mathbf{Q} = [\mathbf{q}_1 | \dots | \mathbf{q}_i | \dots | \mathbf{q}_p], \quad (7)$$

em que λ_i e \mathbf{q}_i , $i \in [1, P]$, são os autovalores e autovetores associados, respectivamente.

Os P_M maiores autovalores são escolhidos como componentes principais.

IV. METODOLOGIA E CONTEXTO DA PESQUISA.

O trabalho foi realizado na Universidade Federal do Ceará (UFC), com os professores de cursos de engenharia dos Centros de Tecnologia e de Ciências Agrárias. A pesquisa

buscou identificar o ponto de vista apresentado pelos professores sobre procedimentos, métodos e ações desenvolvidas pelas coordenações de cada curso no que diz respeito à gestão, isto baseado no que preconiza os artigos 5º e 28º do Regimento Geral da Instituição que versa sobre as competências da Coordenação e as atribuições da Coordenação de Curso, respectivamente [26]. Um total de 12% dos professores respondeu a enquete.

A. Instrumento de Avaliação da Gestão Acadêmica.

Para a obtenção dos dados foi desenvolvida uma enquete, contendo 15 assertivas (ver Tabela I). As assertivas buscam identificar ao máximo as ações a serem desenvolvidas por parte das coordenações de curso superior, as quais focam [27], são elas: funções políticas (liderança, articulação, representatividade e disseminação); funções gerenciais (executivas e administrativas quanto a recursos humanos e materiais); funções acadêmicas (planejamento de diretrizes do curso bem como das atividades eletivas e complementares e seus respectivos processos de avaliação); e funções institucionais (sucesso do curso internamente e externamente, vinculação do curso aos anseios da sociedade e do mercado de trabalho).

TABELA I. ASSERTIVAS DA ENQUETE APLICADA.

Nº	Assertivas
A ₁	A Coordenação do curso contribui com a formação acadêmica dos alunos, acompanhando seus desempenhos e auxiliando-os quando necessário.
A ₂	A Coordenação do curso contribui para que, alunos e professores, realizem o Projeto Pedagógico do Curso no que lhes cabe.
A ₃	A Coordenação do curso estimula os alunos a participarem de eventos acadêmicos (congressos científicos, reuniões tecnológicas, atividades esportivas, extensionistas e/ou artísticas, etc.).
A ₄	A Coordenação do curso esclarece os alunos acerca da importância em participar do Exame Nacional de Desempenho Estudantil (ENADE).
A ₅	A Coordenação do curso discute os resultados do ENADE com a comunidade interna.
A ₆	A Coordenação do curso promove sistematicamente momentos de diálogos sobre a formação, o currículo e o mercado de trabalho.
A ₇	A Coordenação do curso incentiva os alunos a avaliarem os professores.
A ₈	A Coordenação do curso incentiva os alunos a avaliarem as disciplinas (ou módulos).
A ₉	A Coordenação do curso contribui para que haja um clima acadêmico propício ao aprendizado significativo e duradouro por parte dos alunos.
A ₁₀	A Coordenação adota ações cabíveis para garantir a manutenção dos equipamentos de suporte específicos (computacionais, laboratoriais, etc.).
A ₁₁	A Coordenação do curso procura manter o acervo bibliográfico atualizado e em condições de pleno uso por docentes e discentes.
A ₁₂	A Coordenação do curso contribui para o desenvolvimento dos estágios curriculares.
A ₁₃	A Coordenação do curso adota ações cabíveis para garantir a manutenção das instalações físicas utilizadas pelo curso.
A ₁₄	A Coordenação do curso tem reconhecida competência acadêmica.
A ₁₅	A Coordenação do curso tem reconhecida competência na gestão acadêmico-administrativa.

Quanto a enquete, o respondente apontou o seu grau de concordância com a respectiva afirmação por meio de uma

escala de Likert de seis alternativas, conforme valores colocado na Tabela II.

O objetivo dessa enquete é o de fazer refletir o desenvolvimento das ações detalhadas anteriormente, sob a ótica dos seus professores, especialmente voltada à gestão acadêmico-administrativa. Propositivamente, a disposição aleatória das afirmações procura não induzir o professor a perceber alguma classificação orientada sobre características estruturais de suporte dos objetivos e metas dos cursos, tais como: relação ensino-aprendizagem; formação acadêmico-profissional; e os procedimentos gerenciais vinculados.

TABELA II. GRAUS DE CONCORDÂNCIA DAS ASSERTIVAS

Graus de concordância das assertivas e seus valores	
Grau de concordância com a assertiva	Valor atribuído
Discordo Totalmente	1
Discordo Fortemente	2
Discordo	3
Concordo	4
Concordo Fortemente	5
Concordo Totalmente	6

No processo de captação dos dados foi utilizado um formulário eletrônico do tipo enquete disponibilizado pelo serviço de armazenamento e sincronização *Google Drive*®. Na análise da base de dados, foram utilizados o *Matrix Laboratory –MATLAB*® e o *Statistical Package for the Social Sciences-SPSS*®. Os gráficos foram construídos fazendo uso do software *OriginPro8*®.

V. ANÁLISE DOS RESULTADOS.

A. Validando os Resultados Obtidos.

Antes da aplicação do PCA, o conjunto de dados foi submetido a testes de confiabilidade para verificação da sua consistência interna e adequação da amostra para a aplicação do método.

1) *α de Cronbach*: é um índice que visa garantir a confiabilidade dos dados a partir da medida de sua consistência interna [6], [9], [28]. Para o conjunto de dados coletados, o *α de Cronbach* apresentou valor igual a 0,9285, garantindo uma boa distribuição estatística dos dados em torno da média, ou seja, os respondentes seguiram uma mesma linha de raciocínio ao responder a enquete. Portanto, os dados se mostraram confiáveis para a análise.

2) *Testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e Bartlett*: Os testes KMO e o de esfericidade de Bartlett verificam se as variáveis analisadas são correlacionadas entre si, gerando a hipótese de a matriz de correlação das variáveis ser a matriz identidade [23].

TABELA III. VALORES DOS TESTES KMO E BARTLETT.

Testes KMO e Bartlett	
Kaiser-Meyer-Olkin Medida de adequação da amostra.	0,718
Teste de esfericidade de Bartlett	Significância 0,000

Como pode ser visto na Tabela III o valor do teste KMO se mostrou significativo (0,718), garantindo uma boa adequação da amostra para a aplicação do PCA, visto que este deve

possuir valor igual ou superior a 0,6 [24]. O teste de Bartlett (Tabela III) rejeitou a hipótese de que a matriz de correlação seria a matriz identidade [24]. Esta verificação mostrou que os dados são adequados para a aplicação do PCA.

B. Realização dos Procedimentos do PCA.

1) *Análise das Comunalidades*: as variâncias das variáveis extraídas são comparadas com as variâncias das variáveis originais, verificando o quanto de variância comum h_p^2 (comunalidade), existe entre as variáveis observadas e as obtidas com o modelo PCA, sendo a comunalidade h_p^2 relacionada à variância específica s_p^2 (especificidade) e a medida do erro da variância e_p^2 , conforme a expressão abaixo [15].

$$h_p^2 = 1 - (s_p^2 + e_p^2) \quad (9)$$

Destacamos que s_p^2 diz respeito à parcela de característica específica da variável observada, enquanto que e_p^2 é a variância do erro de modelo e de observação.

Conforme apresentado na Tabela IV, os valores de comunalidade h_p^2 das variáveis apresentam percentuais superiores a 0,61, com a exceção da assertiva A_{13} .

TABELA IV. VALORES DE COMUNALIDADE DAS ASSERTIVAS.

	h_p^2	
	Inicial	Extração
A_1	1,000	0,631
A_2	1,000	0,615
A_3	1,000	0,756
A_4	1,000	0,650
A_5	1,000	0,870
A_6	1,000	0,717
A_7	1,000	0,704
A_8	1,000	0,706
A_9	1,000	0,866
A_{10}	1,000	0,913
A_{11}	1,000	0,624
A_{12}	1,000	0,885
A_{13}	1,000	0,445
A_{14}	1,000	0,843
A_{15}	1,000	0,833

Dessa forma, a assertiva A_{13} deve ser retirada das análises posteriores, pois apresenta um valor de comunalidade de 0,445, ou seja, inferior ao valor mínimo sugerido pela literatura da área [29], e que indica uma baixa representatividade desta assertiva dentro das componentes a serem extraídas pelo método PCA. Vale destacar que a comunalidade desta assertiva indica que os professores apresentam opiniões discrepantes a respeito do conhecimento sobre as coordenações atuarem junto ao controle financeiro dos cursos.

2) *Análise dos Coeficientes de Correlação entre as assertivas*: para efeito de análise das correlações optou-se por estudar as correlações mais extremas, ou seja, as que apresentam valores na faixa de Muito Alta ($|r| > 0,8$) e Muito Fraca ($|r| < 0,2$) [31]. Na Fig. 1 é observado que na matriz de correlação R (Equação 5), o maior valor de

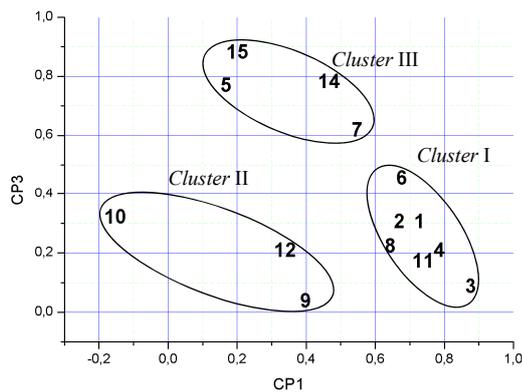


Figura 4. Relação CP1 \times CP3.

Para garantir que esses agrupamentos apresentam confiabilidade e uniformidade internas o α de Cronbach foi obtido e pode ser observado na Tabela VI. Destaca-se a alta consistência interna dos dados, garantindo a uniformidade dos agrupamentos formados.

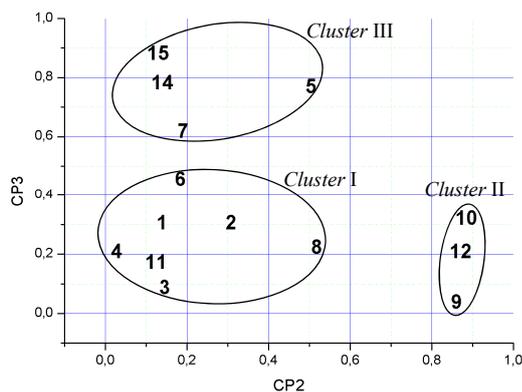


Figura 5. Relação CP2 \times CP3

Analisando os agrupamentos identificados, as assertivas do *Cluster I*, têm em comum o fato de se referirem prioritariamente à formação acadêmica dos estudantes bem como ações relacionadas à avaliação em suas várias manifestações, desde a avaliação das disciplinas até as avaliações externas, isto reforça a proximidade entre as assertivas referentes às funções acadêmicas e gerenciais, expostas em [27]. Dessa forma, para fins de análise decidiu-se nomear o agrupamento como **Formação Acadêmica (FA)**.

As assertivas do *Cluster II* apresentam características relacionadas ao ambiente institucional de formação em nível superior e sua efetiva significância no que diz respeito ao mercado de trabalho ao qual o egresso irá se inserir. Isto devido ao fato das assertivas solicitarem opiniões a respeito da formação significativa, que pressupõe a qualidade do engenheiro formado e a atividade curricular do estágio, onde o formando terá sua primeira oportunidade de inserção no mercado de trabalho. Estas características apontam para a uma afinidade entre as assertivas das funções institucional e

gerenciais colocadas em [27]. Este agrupamento recebeu a denominação de **Formação Profissional (FP)**.

No *Cluster III*, as assertivas apontam para a definição de uma forte relação com a liderança acadêmica da coordenação do curso e suas competências no que dizem respeito ao planejamento em seus vários níveis, desde o Projeto Pedagógico do Curso até os processos de gestão acadêmica, passando pela importância de administrar as atividades meio para o ensino superior. Análise deste grupo mostra uma representatividade no que diz respeito às funções política e gerencial [27]. Este agrupamento recebeu o nome de **Gestão do Ensino Superior (GES)**.

As Figs. 3, 4 e 5 fornecem mais informações do que apenas a classificação das assertivas quanto aos agrupamentos formados, entre elas pode-se destacar que as funções gerenciais encontram-se de forma representativa nos 3 agrupamentos, indicando a importância da coordenação na condução do processo de formação, a qual inclui o sucesso acadêmico através da intervenção, sobretudo na evasão e reprovação.

Pode-se ainda, retirar informações a partir dos gráficos de carregamento, considerando as projeções dos agrupamentos nas CP's extraídas. Na Fig. 3, quando projetamos os agrupamentos nos eixos CP1 e CP2 destacamos que: o *Cluster I (FA)* apresenta maiores valores de carregamento para a CP1, seguido dos *Cluster's III (GES)* e II (**FP**); em relação a CP2, o *Cluster II (FP)* apresenta maiores valores de carregamentos, seguido dos *Cluster's III (GES)* e I (**FA**).

Analisando a Fig. 4, observamos a mesma ordem de relevâncias dos agrupamentos quando projetados na CP1 da Fig. 3, entretanto, em relação a CP3 destacamos os maiores valores de carregamento para o *Cluster III (GES)*, seguido do *Cluster I (FA)* e do *Cluster II (FP)*.

A Fig. 5 corrobora com as informações contidas nas análises feitas das Figs. 3 e 4, contudo chama a atenção o fato as cargas das assertivas pertencentes ao *Cluster II* estarem bem mais próximas.

Observamos que na CP1 e na CP2 o agrupamento GES se mostrou o segundo relevante diante das componentes. Podemos inferir que os professores mostraram uma consciência da importância do Papel da **Gestão do Ensino Superior**, tanto no que diz respeito à **Formação Acadêmica** como na **Formação Profissional**. Entretanto, a CP3 mostra que a **Gestão do Ensino Superior** encontra-se mais voltada para a **Formação Acadêmica** do que para a **Formação Profissional**.

V. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um instrumento de avaliação que permita a identificação das competências da gestão acadêmica, por meio de indicadores educacionais, no contexto da formação de profissionais de engenharia no âmbito da Universidade Federal do Ceará.

O estudo apresentou resultados significativos e consistentes apesar dos dados coletados serem oriundos das respostas de aproximadamente 12% do total de professores dos cursos em análise.

Os resultados mostram a viabilidade do uso da PCA para a análise de dados relacionados à gestão acadêmica de nível

superior. As assertivas foram classificadas por três agrupamentos, os quais foram classificados como: Formação Acadêmica, Formação Profissional e Gestão do Ensino Superior. Pode-se ainda, destacar o importante papel das coordenações refletido na significância dada à gestão nas componentes principais extraídas.

A análise dos resultados aponta para a existência de uma relação entre os métodos de gestão no ensino superior, onde foi possível constatar que, de acordo com a Componente Principal 3, a Gestão do Ensino Superior encontra-se mais voltada para a formação acadêmica do que a formação profissional. Isto corrobora com a possibilidade de fazer inferências avaliativas sobre as ações e os métodos de gestão. Delineando intervenções que visem a melhoria do ensino e da aprendizagem nos cursos de formação em engenharia.

Como perspectivas, destacamos: a possibilidade de análise de um maior número de cursos, inclusive de outras áreas e de outras unidades acadêmicas; subsídios para reformulação de políticas voltadas à diminuição da evasão e da repetência, contribuindo para a intervenção no que diz respeito ao sucesso acadêmico do formando; estudo da relação dos resultados encontrados aqui com os índices calculados por avaliações externas; adaptação do instrumento para a aplicação com os alunos dos cursos, isto visando identificar a visão do formando; aplicação de outros modelos matemáticos que explorem as informações intrínsecas dos dados, como é o caso das decomposições multilineares [5].

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela CAPES, CNPq, FUNCAP e o Grupo de Pesquisa em Educametrica (GPed) - Universidade Federal do Ceará (UFC) - Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Schuwartzman. "The Future of higher Education in Brazil". Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington, D.C., 1992.
- [2] O. Rompelman. "Avaliação do Aprendizado: a evolução dos objetivos no ensino da engenharia e suas consequências no tocante a avaliação". Tradução Paulo dos Santos Ferreira. Teleconferência "Reforma da Educação e Renovação Pedagógica nas Engenharias", Fundação Vazolini - EAD, São Paulo, 1 Dezembro, 1999.
- [3] K. Hoffman, C. Mayas and H. Krömker. "Study time and overload in engineering education" IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Amman, Jordan, 2011.
- [4] R. L. L e Silva Filho, P.R. Motejunas, O. Hipólito and M. B. De C. M. Lobo. "A Evasão no Ensino Superior Brasileiro". Cadernos de Pesquisa [online]. 2007. Vol. 73, n.132, pp. 641-659.
- [5] F. H. L. Vasconcelos, T. E. V. da Silva, W. M. dos Santos, A. L. F. de Almeida, W. B. Andriola and J. C. M. Mota, Multilinear "Decomposition Application into Students' Evaluation of Teaching Effectiveness". Proc. Of IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), P. 910-916, 2013.
- [6] T. E. V. Silva, F. H. L. Vasconcelos, A. L. F. de Almeida and J. C. M. Mota. "Multivariate analysis for the students' evaluation of teaching effectiveness in teleinformatics engineering". Proc. of IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE). Hong Kong, 2012.
- [7] J. M. Laguador. "Engineering Students' Academic and on-the-job Training Performance Appraisal Analysis". International Journal of e-Education, e-Management and e-Learning, Vol. 3. No. 4. August, 2013.
- [8] T. E. V da Silva. "Evaluating the Teaching Effectiveness Using Multivariate Statistics". (Master's Thesis). Federal University of Ceará-Brazil-2013.
- [9] A. O. Nunes, T. E. V. da Silva, A. F. L. de Almeida, J. C. M. Mota and W. B. Andriola. "Analyzing the quality of the engineering course's management using information processing based on multivariate statistics: A case study under the professors' perspectives". pp.175-178, 2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Oklahoma-2013.
- [10] A. J. O. Reyes, A. O. García, and Y. L. Mué. "System for Processing and Analysis of Information Using Clustering Technique". IEEE Latin America Transactions, Vol. 12, NO. 2, March, 2014.
- [11] G. A. Díaz, A. A. Romero, E. Mombello, and N. Furlan. "Forecasting of the Transformer Core Destruction Factor by means of Multivariate Methods for Data Analysis". IEEE Latin America Transactions, Vol. 11, NO. 1, Feb, 2013.
- [12] J.R. Berrendero, A. Justela, and M. Svarc. "Principal components for multivariate functional data". Computational Statistics and Data Analysis vol. 55. 2619–2634 - 2011.
- [13] S. S. Chaea, W. D. Wardeb. "Effect of using principal coordinates and principal components on retrieval of clusters". Computational Statistics & Data Analysis. Vol. 50. 1407 – 1417 - 2006.
- [14] L. Pasquali. "Análise Fatorial para Pesquisadores". LabPAM-Saber e Tecnologia. Brasília, 2012.
- [15] M. Hörnquist, J. Hertz, M. Wahde. "Effective dimensionality of large-scale expression data using principal component analysis". BioSystems. Vol. 65. 2002.
- [16] V. Sguissardi. "Universidade Brasileira no Século XXI: Desafios do Presente". Editora Cortez. São Paulo, 2009.
- [17] D. L. Stufflebeam and A. J. Shinkfield, "Evaluation: Theory, Models, and Applications". Wiley: San Francisco, 2007.
- [18] N. V. Varghese. "Higher education and development". News Letter – International Institute for Education Planning. Vol. XXV, N° 1, January-March 2007.
- [19] D. F. B Marquesini, A. F. Penteado, e D. C. Baptista. "O Coordenador de Curso da Instituição de Ensino Superior: Atribuições e Expectativas". Revista de Educação. Vol. XI, N 12. 2008.
- [20] I. F. Valoi. "Competências do Gestor Educacional: Um Estudo Qualitativo em Três Cursos de Administração Vinculados a Instituições de Ensino Superior Localizados no Estado do Rio Grande do Sul". Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração/Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.
- [21] M. A. M. Lima, "Avaliação e Gestão Educacional: Fundamentos Históricos, Teóricos e Conceituais". In M. A. M. Lima and T. de J. P. Maciel, (organizadores). Avaliação, Gestor e Estratégias Educacionais: Projetos e Processos Inovadores em Organizações. Edições UFC: Fortaleza, 2008.
- [22] R. W. Tyler, "General Statement on Evaluation". Journal of Education Research, 35, pp. 492-501, 1942.
- [23] R. W. Tyler. "A Rationale for Program Evaluation". In: G. F. Madaus et al. "Evaluation Models". Viewpoints on Educational and Human Services Evaluation. Kluwer-Nijhoff Publishing: Boston, 1993.
- [24] P. E. Green, "Multivariate Data Analysis". Cengage Learning, 2011.
- [25] B.G. Tabachnick and L.S. Fidell, "Using Multivariate Statistics". Allyn and Bacon, London. 2001.
- [26] Universidade Federal do Ceará. "Regimento Geral da UFC" – 1982 e suas versões revistas e atualizadas [2008; 2009; 2010; 2011; 2011(2); 2011(3); 2013; 2013(2)]. Disponível no endereço <http://www.ufc.br/a-universidade/documentos-oficiais/326-regimento-geral-da-ufc>, acessado em 09/07/2014, às 15h 48min.
- [27] Associação Brasileira de Mantenedoras do Ensino Superior - ABMES. "Funções do Coordenador de Curso: Como 'Construir' o Coordenador Ideal". Disponível no endereço <http://www.abmes.org.br/public/arquivos/publicacoes/ABMESCaderno8.pdf>, acessado em 01/01/2013, às 10h.
- [28] L. J. Cronbach, "Coefficient alpha and the internal structure of tests". Psychometrika, vol. 16, pp. 297-334, 1951.
- [29] H. H. Harman. "Modern factor analysis". Chicago, The University of Chicago Press, 1968. 474 p.
- [30] C. Dancey and J. Reidy, "Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows". Porto Alegre: Artmed, 2006.
- [31] Moita-Neto, J. M. "Estatística Multivariada na Pesquisa". volume 5. Sapiência. FAPEPI – 2009.



Albano Oliveira Nunes. Graduado em Física – UERN/1998; Especialista em Gestão Escolar – UDESC/UECE/2004; Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática – UFRN/2006. Atualmente cursa Doutorado em Engenharia de Teleinformática UFC, onde desenvolve pesquisas relacionadas a aplicação de métodos de análise matemática multivariada (Educametria) à gestão de cursos superiores de formação em engenharia da UFC. Possui experiência em: Ensino de Física; Gestão e Planejamento Públicos; Estatística clássica e de ordem superior bem como análise multivariada e tensorial. Sócio efetivo da Sociedade Brasileira de Física; Membro Estudante do *IEEE*.



Thomaz Edson Veloso da Silva Tem graduação em Licenciatura em Física e mestrado em Engenharia de Teleinformática pela Universidade Federal do Ceará. Tem experiência na área de matemática computacional aplicada à problemas de engenharia, Educação a Distância e Ensino de Física. Atualmente é doutorando em Engenharia de Teleinformática também pela Universidade Federal do Ceará estudando aplicações da álgebra linear e multilinear. Atua principalmente nos seguintes temas: ensino de física e ciências, EAD, estatística multivariada, álgebra linear e multilinear e suas aplicações. Membro Estudante do *IEEE*.



João Cesar Moura Mota Possui graduação em Física pela Universidade Federal do Ceará (Julho/1978), mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (setembro/1984) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (agosto/1992). Atualmente é professor titular da Universidade Federal do Ceará (UFC), Sub-chefe do Departamento de Engenharia de Teleinformática e Diretor Adjunto de Relações Interinstitucionais do Centro de Tecnologia/UFC, sócio fundador da Sociedade Brasileira de Telecomunicações, membro da Sociedade Brasileira de Informática em Saúde, conselheiro do ramo estudantil do Institute Electrical and Electronics Engineers (IEEE) na UFC, membro da Signal Processing Society, da Communications Society e da Education Society do IEEE. Tem experiência na área de Engenharia de Telecomunicações, com ênfase em Processamento de Sinais em Sistemas de Comunicações, atuando principalmente nos seguintes temas: identificação e equalização de sistemas. Outras áreas de interesse: processamento multi-linear de sinais, matemática e física para a formação de engenheiros, modelagem de sistemas, educametria.



André Lima Férrer de Almeida possui graduação em Engenharia Elétrica (2002), mestrado em Engenharia de Teleinformática (2003), ambos pela Universidade Federal do Ceará (UFC), e o duplo diploma de doutorado pela Université de Nice Sophia Antipolis, França e pela UFC (2007). Realizou pós-doutorado no Laboratório I3S, França (2008), e na UFC (2009). É Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Teleinformática (DETI) da UFC, e membro permanente do seu Programa de Pós-Graduação. É membro do Grupo de Pesquisa em Telecomunicações Sem Fio (GTEL) e do Grupo de Pesquisa em Processamento de Sinais e Informação (GPSI), atuando na área de Processamento de Sinais para Comunicações Sem Fio. Em 2002, foi pesquisador visitante na Ericsson Research Labs, Estocolmo, Suécia. De 2007 a 2008, foi professor e pesquisador no Laboratório I3S/CNRS, e na École Polytechnique de Nice Sophia Antipolis, França. Em 2012, foi-lhe concedida uma posição de professor visitante na Universidade de Nice Sophia-Antipolis, França. Tem mais de 100 artigos publicados e aceitos em periódicos internacionais qualificados e em conferências/simpósios e 5 capítulos de livros. É Editor Associado dos periódicos *IEEE Transactions on Signal Processing*, *Circuits, Systems and Signal Processing*, e *KSII Transactions on Internet and Information Systems*. É Membro Sênior do IEEE, e filiado aos Comitês Técnicos "Signal Processing for Communications and Networking" (SPCOM-TC) e "Sensor Array and Multichannel" (SAM-TC) do IEEE.



Wagner Bandeira Andriola Possui graduação em Psicologia pela Universidade Federal da Paraíba (1990), especialização (lato sensu) em Psicometria pela Universidade de Brasília (1992), mestrado em Psicologia pela Universidade de Brasília (1993 - bolsista CNPq) e doutorado em Filosofia e Ciências da Educação pela Universidad Complutense de Madrid (2002 - bolsista CAPES). Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal do Ceará (UFC), Coordenador de Avaliação Institucional (UFC), Editor-Chefe da Coleção Temas em Avaliação Educacional, do Programa de

Mestrado e Doutorado em Educação (UFC). Tem experiência nas áreas de Psicologia e de Educação, com ênfase em Avaliação de Sistemas, Instituições, Planos e Programas Educacionais. É consultor ad-hoc dos periódicos: a) Ensaio: Avaliação de Políticas Públicas em Educação (CESGRANRIO), b) Avaliação: Avaliação da Educação Superior (UNISO), c) Estudos em Avaliação Educacional (FCC), d) Psicologia: Reflexão e Crítica (UFRGS), e) Revista de Avaliação Psicológica (IBAP), f) Psicologia: Teoria e Pesquisa (UnB), g) Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos (RBEP), h) American Journal of Applied Psychology.

D.3 Artigo submetido à revista *Ingenieria e Investigación* da Faculdade de Engenharia Universidad de Colombia

Tabela 14: Classificações Qualis da Revista *Ingenieria e Investigación*

ISSN	ESTRATO	AREA DE AVALIAÇÃO
1548 0992	B2	ENGENHARIAS IV
1548 0992	C	CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
1548 0992	B2	ENGENHARIAS II
1548 0992	B3	ENGENHARIAS III

Introduction

The issues related to high dropout and failure rates in the higher education are historical in Brazil. However, the advent of shares increased supply of higher education, these issues become even more evident, especially in courses of engineering, technology and related areas (Schwartzman, 1992), (Rompelman, 1999) and (Silva Filho, et al., 2007). In this context, educational diagnostic evaluation is emerging as a starting point, becoming prominent for understanding these phenomena and suggesting possible interventions. Throughout this study, we will discuss the process of administration in higher education, specifically by the managers of the courses and their role to solve this problem.

From the perspective of systemic planning, the academic administration must present a fundamental role for the correct objective to solve problems related to the educational quality provided to the undergraduate students, and their consequent formation for the Labor Market (UNESCO, 1998). This issue is due to the fact that academic environment takes a broader position than just its instructional services, becoming prominent with regard to the management of development processes (Vanghese, 2007). It is noteworthy that the actions proposed must follow the current public policies (BRASIL, 1996), as well as those recommended by the institution (UFC, 1982). It is noticed that the courses' managers are responsible for: regulations, policies, supporting and guiding students throughout their university education within the limits of the academic and administrative aspects (Laguador, 2013).

These limits confront us with the need to evaluate the academic and managerial skills of coordinations at Brazilian higher education. Generally, education management has been studied subjectively, mainly by evaluating their qualitative aspects. However, this study seeks to contribute to the analysis of the educational context under quantitative point of view regarding a qualitative inferences, according to the researches that have been developed recently in a field called Educametrics (Silva, et al., 2012), (Vasconcelos et al., 2013), (Nunes, et al., 2013) and (Nunes, et al., 2014).

This study aims to validate an assessment tool that provides the analysis of skills of academic higher education management, from the perspective of the respondents of the courses, who filled a form based in a set of statements ($A_i, i = 1, 2, \dots, 14, 15$) developed for this purpose. Thus, we sought to investigate the applicability of Principal Components Analysis to achieve educational indicators for management courses and vocational formation in engineering, technology and related areas at Federal University of Ceará (UFC).

Evaluation and Management in Higher Education

Currently, the Higher Education Institutions in Brazil has been undergoing a process of renewal and changes in their ways of working, in order to improve its service to society (Schwartzman, 1992) and (Sguissardi, 2009), which may include the higher education management and its practices in order to improve its function.

It is necessary to understand that educational management has its basis in several areas, highlighting the university administration and education. Thus, the main responsible for conducting the process is the coordination of higher course (Marquesin, et al., 2008). This feature assigns a higher complexity for the activity

performed by these professionals, due to the need to manage the processes of teaching and learning at different levels and with different institutional responsible, from the planning (educational, structural, financial), execution and evaluation (Valoi, 2007).

Therefore, the management of higher education have multimodal characteristics, allied to these evaluative processes, may contribute to the improvement of educational quality with respect to the formation of higher education level (Gómez, et al., 2014). Among the knowledge that should give management support, the evaluation of higher education (Bogoya, et. al., 2013), which can be used to check various aspects, going through the simplicity of institutional process of teaching and learning, such as: mission, institutional development plan, research and extension policies, graduate, social responsibility, human resources policies, physical infrastructure, and educational materials (Stufflebeam, et. al., 2007).

According to Tyler (1942) and (1993), the evaluation provides grants for critical analysis from the perspective of the institution, enabling the investigation of ineffective elements, rearranging the various stages of the process. Still on this model, some aspects should be highlighted: professor / student interaction, education as a process of establishing standards of conduct, the diversity of instruments in the evaluation process, among others.

Thus, it can be seen that the evaluation becomes more significant when we also consider the analysis of programs, curricula and educational systems, crossing the boundaries of the specific measuring student performance. This gives to evaluation some parametric aspects for intervention in reality / context of the program / course, this with the intention to further develop the institutional function (Tyler, 1942).

Since the comments above, the qualitative and quantitative assessment of the management procedures of undergraduate degrees in engineering, technology and similar fields at UFC, may provide a basis for the quality improvement of the courses (Gómez, et al., 2014) and their graduates and also enabling the adoption of strategies that aimed the reduction in dropout and failure rates, providing an improvement in the academic outcomes of undergraduate students. Thereby, we were looking for a mathematical model that provides the link between the elements of qualitative and quantitative aspects of the assessment proposed.

Mathematical Model

In the present study the multivariate statistics method called Principal Components Analysis – PCA was used, aiming the evaluation and validation of the instrument developed, regarding the extraction of information related to the management processes of Engineering, Technology and similar courses at UFC. The PCA is a method that reduces the space of representation of measures of the information brought by the data, whose most significant information is preserved. The process starts by discarding linear combinations with small representation of the data characteristics, thus the overlap information is not considered.

The PCA is used to analyze integrated data obtained from statistical measures relationships in order to identify patterns, possible inferences and classifications in the data set for analysis.

In this work, we started from a database in matrix form $X = [x_1 | \dots | x_i | \dots | x_p]_{M \times P}$, in which $x_i, i \in [1, P]$, is a column vector which components originated in data set. The PCA

seeks to relate the entries of \mathbf{X} through measures of covariance or correlation coefficients of the variables. This new set of information has some important algebraic characteristics (Green, 2011) and (Tabachnick, et al., 2001).

The PCA-based analysis in this work, part of the correlation coefficients matrix, which highlights the relationships of the data in a domain of observation, represented by P linearly independent columns of the matrix \mathbf{X} , assuming $P < M$. This indicates that the matrix \mathbf{X} has full rank P . It should be noted that the eigenvector associated with the largest eigenvalue, of the covariance or correlation matrix of the data, represents the direction of the projection with the greatest intensity information from the original dataset.

The PCA method is calculated from the original database, represented by the matrix \mathbf{X} , following the sequence below.

Algorithm PCA

Considering the Matrix $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1 | \dots | \mathbf{x}_i | \dots | \mathbf{x}_p]_{M \times P}$, formed by the vectors of observed data $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_p$, where P is the number of statements.

(i). calculate the μ_i sample mean and the s_i^2 sample variance of the variable p -th:

$$\mu_p = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M x_{lp}, \quad (1)$$

$$s_p^2 = \frac{1}{(M-1)} \sum_{l=1}^M (x_{lp} - \mu_p)^2, \quad (2)$$

Where the value of x_{lp} is the value of \mathbf{x}_p in the p -th observation, which comprises the statements evaluated by respondents.

(ii). Based on the eq. (1), compute the entries from covariance matrix $\mathbf{C} = [c_{jk}]_{P \times P}$ between the vectors \mathbf{x}_j and \mathbf{x}_k . In the statements A_j e A_k :

$$c_{jk} = \frac{1}{(M-1)} \sum_{l=1}^M (x_{jl} - \mu_j)(x_{kl} - \mu_k), \text{ for } j, k = 1, \dots, P, \quad (3)$$

(iii). Calculating the correlation coefficient between the statements A_j and A_k , considering the equations (2) and (3):

$$r_{jk} = \frac{c_{jk}}{s_j s_k}, \quad (4)$$

(iv). To obtain the matrix of correlation coefficients, hereinafter called correlation matrix.

$$\mathbf{R}_{p \times p} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Where $\mathbf{R}_{p \times p}$ is obtained from equation (4)

(v). From the Eigenvalue Decomposition - EVD of \mathbf{R} , obtaining matrices of eigenvectors and eigenvalues $\mathbf{\Lambda}$ and \mathbf{Q} , respectively:

$$\mathbf{\Lambda} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \lambda_p \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\mathbf{Q} = [\mathbf{q}_1 | \dots | \mathbf{q}_i | \dots | \mathbf{q}_p], \quad (7)$$

and wherein λ_i and $\mathbf{q}_i, i \in [1, P]$, are associated eigenvectors and eigenvalues, respectively.

P_{1st} largest eigenvalues and its eigenvectors associated are chosen as main components.

Methodology and Research Context

The study was conducted at Federal University of Ceará (UFC), with professors from six engineering courses from the Technology and Agricultural Sciences Centre and the Systems and Digital Media (SDM) course at UFC. The research sought to identify the professors' point of view about procedures, methods and actions taken by the coordinations of each course with regard to administrative processes. The instrument developed was based on the Institution rules, where the skills and competencies of Course's Coordinator are pointed out (UFC, 1982). About 20% of professors answered the form.

Instrument design of the research evaluation.

As noted, it was developed an instrument in the form of a poll, that containing 15 statements to obtain the information that were quantified (numerical data) (Nunes, et al., 2013) and (Nunes, et al., 2014). These statements seek to identify the actions that should be taken by the coordinations of higher education, such as: political functions; managerial functions; academic functions; and institutional functions (ABMES, 2013).

Regarding the statements, the participants suggested their level of agreement through a 6-point Likert-type Scale, which, at the time of processing data, received the conversion values of: Totally Disagree (1); Strongly Disagree (2); Disagree (3); Agree (4); Strongly Agree (5); and Totally Agree (6). The purpose of this instrument is identifying possible inconsistencies about management processes under the professors' point of view, especially focused on academic and administrative management. Purposely, the statements were randomly rearranged, not allowing any kind of classification based on its structural features, such as: teaching and learning relationship; academic and vocational formation; and management procedures.

The data collection was performed using an electronic type, available at this storage service and sync of the Google Drive® service, as well as in printed form. In the data analysis, the software Matrix Laboratory - MATLAB and the Statistical Package for Social Sciences-SPSS were used. The plots were obtained by the software OriginPro8®.

Results and Discussion

Validation of results

To ensure that the database was suitable for PCA, some tests of reliability and adequacy were performed as described below.

We emphasize that all the data variables were used to analyze the eigenvalues obtained *a priori* (PCA-1), and after this, only the most important variables were selected to the final analysis (PCA-2).

1) *α de Cronbach*: This is an index that seeks to ensure the reliability of the data from the measure of its internal consistency (Hörnquist, et al., 2002). For the data collected data, the *Cronbach's α* was 0,9402 (Tab. 1 – PCA1), which ensures a good statistical distribution of the data around the mean, i. e., respon-

dents has following the same thinking to answer the poll. Therefore, the data is reliable for analysis, according to this parameter.

Table 1. Comparative validation of the indicators in PCA-1 end PCA-2

Number of Items / stage	KMO	α	Scale/ cumulative variance % (1 eigenvalue)	Scale/ cumulative variance % (2 eigenvalues)	Scale/ cumulative variance % (3 eigenvalues)
15 items / PCA-1	0,824	0,9402	8,27 / 55,16 %	1,47 / 64,92%	1,24 / 73,20%
12 items (excluding A4, A10 e A13) / PCA-2	0,892	0,9406	7,31 / 60,93%	0,88 / 68,26%	0,82 / 75,09%

2) *Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) and Bartlett's Tests*: Calculate the correlation among all variables analyzed and also verify the hypothesis of correlation matrix of variables is an identity matrix (Tabachnick, et al., 2001).

The value obtained for KMO test was 0,824 (Table 1 – PCA-1), showing that the data are significant, thus guarantees a good adaptation of the sample for the application to use the PCA, since this must be equal or upper than 0,6 (Green, 2011). We find that the Bartlett's test reject the null hypothesis that the correlation matrix would be an identity matrix (Green, 2011).

Application of PCA

1) *Communalities*: the variances of the data extracted are compared with the variances of the original variables, checking how much variance in common h_p^2 (communalities) exists among observed variables and those obtained from the PCA model, being communalities h_p^2 related to the specific variance s_p^2 (specificity) and the measurement error variance e_p^2 , according to the expression $h_p^2 = 1 - (s_p^2 + e_p^2)$, (Hörnquist, et al., 2002) and (Pasquali, 2012). The values of the communalities are set in Table 2 (PCA-1), and all the 15 statements presented values higher than 0,6, indicating high representativeness of the statements in the first case (PCA-1).

Table 2. Values Communalities of the Statements.

item	Inicial	h_p^2 (15 items)	h_p^2 (12 items)
		PCA-1	PCA-2
A ₁	1,000	0,712	0,765
A ₂	1,000	0,693	0,719
A ₃	1,000	0,720	0,738
A ₄	1,000	0,770	-
A ₅	1,000	0,614	0,668
A ₆	1,000	0,633	0,640
A ₇	1,000	0,810	0,879
A ₈	1,000	0,735	0,701
A ₉	1,000	0,773	0,875
A ₁₀	1,000	0,910	-
A ₁₁	1,000	0,659	0,606
A ₁₂	1,000	0,800	0,855
A ₁₃	1,000	0,716	-
A ₁₄	1,000	0,737	0,766
A ₁₅	1,000	0,700	0,799

2) *Selecting the Number of Components*: A Fig. 1 (PCA-1) shows the magnitude of the eigenvalues (λ) extracted from the correlation matrix. To select the number of principal components to be considered later, we used the Kaiser criterion. It says that the components to be considered must submit eigenvalues greater than 1 ($\lambda > 1$) (Tabachnick, et al., 2001).

From Fig. 1 (PCA-1), an abrupt decay curve and apparently stabilizes at values between 0 e 1 after the first 3 components, which

represent an accumulated variance that exceeds 73% as seen in Table 1 (PCA-1). This result shows sufficiency on the representation of the original data (Pasquali, 2012).

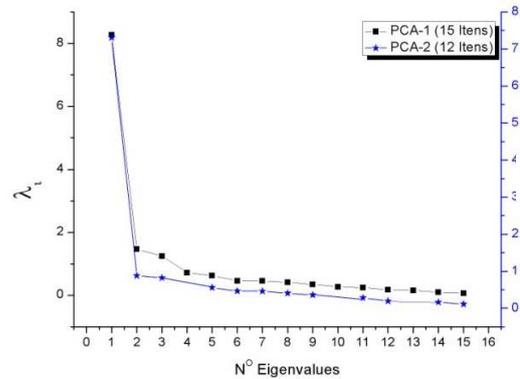


Figure 1. Scree Plot PCA-1 and PCA-2.

3) *Cluster Analysis By PCA*: For the PCA-1, the three principal component obtained, by the Kaiser criterion, does not make any sense in the analysis, then the first two Principal Components (PC1 and PC2) was selected presenting a great results according with the preliminaries expectations (Fig. 2).

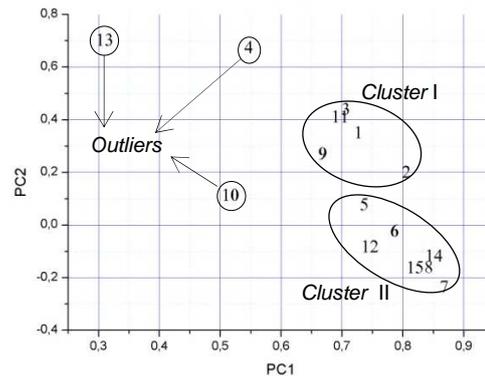


Figure 2. Loadings Plot PCA-1

In Figure 2, can be verified the formation of two clusters of statements: Cluster I – A₁, A₂, A₃, A₉, A₁₁; and Cluster II – A₅, A₆, A₇, A₈, A₁₂, A₁₄, A₁₅. We observe in Fig. 2 a set of loadings formed by statements A₄, A₁₀ e A₁₃, which we considered as outliers. Observing the outliers statements, the statement A₄ is related to the National Examination of Students' Performance (ENADE) and the statements A₁₀ and A₁₃ are related to the maintenance of equipment and infrastructure.

The discrepancy regarding A₄ can be attributed to the fact that the SDM course has not participated of any external assessment process which contributes, in this study, for 50% of respondents. According to the items A₁₀ and A₁₃, this apparent distancing of the clusters reveals the opinions of the professors that the coordination has no obligation to act in the maintenance of equipment and physical infrastructure sector, since this work should be done by other university sectors (UFC, 1982).

The occurrence of outliers showed the need to remove their items from the analysis, since this could negatively influence the clustering formation. The removal of items demanded a new validation process where the data in were obtained Table 1 (PCA-2).

It can be observed that the new validation was consistent with higher values than the previous validation step. It is possible to observe that the model selects only one component equal to or greater than 1 (Kaiser Criterion), and this alone represents approximately 61% of the variance (Table I. PCA-2), you can still view the stability in the decay of magnitudes of the eigenvalues in Fig. 1(PCA-2).

In PCA-2, the Kaiser criterion selected only one principal component, however, as showed in the first analyze (PCA-1), this criterion was revised to make reasonable inferences about the results obtained and ,in this case (PCA-2), we have considered the second principal component in the analysis, as can be seen in Figure 3. A new consistent pattern can be observed in Figure 3, with the formation of three clusters.

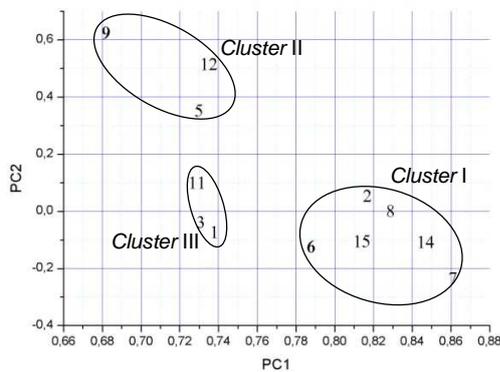


Figure 3. Loadings Plot PCA-2.

The statements belonging to each cluster are presented in Table 3. The Cronbach's α was computed to measure the internal consistency of the clusters obtained and all the three clusters have a high internal consistency.

Table 3. Detailing Clusters

Detailing Clusters		
Cluster	Statements	α
I	A2, A6, A7, A8, A14 e A15	0,9175
II	A5, A9 e A12	0,8520
III	A1, A3 e A11	0,8072

From Fig. 3, the statements related to cluster I, have in common the fact that its refer to aspects related to curriculum, assessment and academic and administrative leadership, this inference reinforces the importance, attributed by professors, about the inductive role of guidelines for stroke that can be exercised by the coordination. This cluster was named Planning x Assessment **(PA)**.

The cluster II presents statements related to the institutional training environment and its external visibility, more broadly in society, with regard to aspects related to meaningful learning and ENADE, or more specifically on their performance in the labor market through his first contact through internships. The cluster was named as Management of Professional Training x Labour Market **(PM)**.

Analyzing the cluster III, the statement point to an affinity in the matters relating to Academic Training of students, especially with the regard to the enviroment to support learning as library and extracurricular activities. This cluster was named the Academic Management Training x Environments to support learning **(AE)**.

The Figure 3, can still provide other information such as: statement of the cluster I present higher loading values on PC1, followed by the other two clusters with almost the same order of magnitude; towards higher values of PC2 loading are presented by the statements of cluster II, followed by the other two, being these of similar values.

We also observed that PC1 and PC2 in the cluster III was identified as the second most important in relation to these two components. We can infer that professors showed an awareness of the important role that the management of higher education has in conducting academic training processes in engineering courses, and related technology.

Conclusions and Perspectives

The aim of this study was the validation of an assessment instrument constructed to identify the skills of academic management, using educational indicators, in the context professors' point of view of the Systems & Digital Media and Engineering courses at Federal University of Ceará.

The results show the feasibility of using PCA for the analysis and validation of the data collected related to academic higher education management. The results showed the need to remove some items that were corrupting the analysis. This was generated by the professors, understanding the role of coordinators who have no autonomy in the management of financial resources.

The remaining statements were classified into three groups: Planning x Assessment; Management of Vocational Training and Labour Market; and Management of Academic Training and their support learning environments. We can also highlight the important role of coordination presented in the meaning given to management in major components extracted.

The analysis of results points to the existence of a relationship between the methods of management in higher education, where it was found that this provides important elements for academic and vocational training. This corroborates with the possibility to make evaluative inferences about the actions and methods of management. Thus enables the design of interventions aimed at improving teaching and learning in undergraduate engineering education. One can even say that the vision of professors point to the need for decentralization of financial management within the courses.

These studies point to possible perspectives, such as: the possibility of application of the instrument in other courses and areas; can make use of inferences as subsidy for reformulation of policies that aims to decrease dropout and failure rates, contributing to the intervention with regard to the academic success of the learner; investigation of the relationship between the results found in this research with the indices calculated by external evaluations; adaptation of the instrument to implement with students of the courses, that aimed to identify the vision of the graduate student on the level of training received; the application of other mathematical models which exploit the inherent information data, such as multilinear decomposition and tensor analysis (Vasconcelos et al., 2013).

Acknowledgments

This paper was supported by CAPES, CNPq, FUNCAP and GPEd research group – Federal University of Ceará (UFC) – Brazil.

References

- Associação Brasileira de Mantenedoras do Ensino Superior - ABMES. (2013). Funções do Coordenador de Curso: Como 'Construir' o Coordenador Ideal. Retrieved from http://www.abmes.org.br/public/arquivos/publicacoes/ABMES_Cademo8.pdf.
- Bogoya, J. D., & Bogoya, J. M. (2013). Un modelo matemático para el valor académico agregado: Caso de la educación superior en Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 33, 76-81.
- BRASIL. (1996). Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Retrieved from: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/L9394.htm>.
- Gómez, J., León, E., Cubides, C., Rodríguez, A., Mehecha, J., & Rubiano, J. C. (2014). Evolución de las metodologías de enseñanza y evaluación: la experiencia del curso de programación de computadores en la Universidad Nacional de Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 34, 85-89.
- Green, P. E. (2011). *Multivariate Data Analysis*. Cengage Learning.
- Hörnquist, M., Hertz, & Wahde, J. M. (2002). Effective dimensionality of large-scale expression data using principal component analysis. *BioSystems*. Vol. 65.
- Laguador, J. M. (2013). Engineering Students' Academic and on the job Training Performance Appraisal Analysis. *International Journal of e-Education, e-Management and e-Learning*, Vol. 3. No. 4.
- Marquesin, D. F. B., Penteadó, A. F., & Baptista, D. C. (2008) O Coordenador de Curso da Instituição de Ensino Superior: Atribuições e Expectativas. *Revista de Educação*. Vol. XI, N 12.
- Nunes, A. O., Silva, T. E. V. da, Almeida, A. L. F. de, Mota, J. C. M & Andriola, W. B. (2013) Analyzing the quality of the engineering course's management using information processing based on multivariate statistics: A case study under the professors' perspectives. *Frontiers in Education Conference (FIE) in Oklahoma City*, pp.175-178, by IEEE.
- Nunes, A. O., Silva, T. E. V. da, Mota, J. C. M., Almeida, A. L. F. de, & Andriola, W. B. (2014). Developing an Instrument for Assessment of Academic Management in Engineering Courses. submitted in October 2014 for consideration of the *IEEE Latin America Transactions*.
- Pasquali, L. (2012). *Análise Fatorial para Pesquisadores*. LabPAM - Saber e Tecnologia.
- Rompelman, O. (1999). Avaliação do Aprendizado: a evolução dos objetivos no ensino da engenharia e suas consequências no tocante a avaliação. Tradução Paulo dos Santos Ferreira. Teleconferência Reforma da Educação e Renovação Pedagógica nas Engenharias, Fundação Vazolini - EAD.
- Schwartzman, S. (1992). The Future of higher Education in Brazil. Woodrow Wilson Internacional Center for Scholars.
- Sguissardi, V. (2009). *Universidade Brasileira no Século XXI: Desafios do Presente*. Editora Cortez.
- Silva Filho, R. L. L. e, Motejunas, P.R., Hipólito, O. & Lobo, M. B. De C. M. (2007). A Evasão no Ensino Superior Brasileiro. *Cadernos de Pesquisa [online]*. Vol. 73, n.132, pp. 641-659.
- Silva, T. E. V. da, Vasconcelos, F. H. L., Almeida, A. L. F. de, & Mota, J. C. M. (2012). Multivariate analysis for the students' evaluation of teaching effectiveness in teleinformatics engineering. In *IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*.
- Stufflebeam, D. L. & Shinkfield, A. J. (2007). *Evaluation: Theory, Models, and Applications*. Wiley.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2001). *Using Multivariate Statistics*. Allyn and Bacon.
- Tyler, R. W. (1942). General Statement on Evaluation. *Journal of Education Research*, 35, pp. 492-501.
- Tyler, R. W. (1993). A Rationale for Program Evaluation. In: Madaus, G. F., et al. *Evaluation Models. Viewpoints on Educational and Human Services Evaluation*. Kluwer-Nijhoff Publishing.
- Universidade Federal do Ceará - UFC. (1982). Regimento Geral. suas versões revistas e atualizadas [2008; 2009; 2010; 2011; 2011(2); 2011(3); 2013; 2013(2)]. Retrieved from <http://www.ufc.br/a-universidade/documentos-oficiais/326-regimento-geral-da-ufc>.
- UNESCO. (1998). The Role of Student affairs and services in higher education for developing, implementing and assessing student affairs programmes and services – follow-up to the world conference on Higher Education. Retrieved from: <http://unesco.org/images/0012/001281/128118e.pdf>
- Valoi, I. F. (2007). *Competências do Gestor Educacional: Um Estudo Qualitativo em Três Cursos de Administração Vinculados a Instituições de Ensino Superior Localizados no Estado do Rio Grande do Sul*. Thesis of Master. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Vasconcelos, F. H. L., Silva, T. E. V. da, Santos, W. M. dos, Almeida, A. L. F. de, Andriola, W. B., & Mota, J. C. M. (2013). Multilinear Decomposition Application into Students' Evaluation of Teaching Effectiveness. *Proc. Of IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, P. 910-916.
- Varghese, N. V. (2007). Higher education and development. *News Letter – International Institute for Education Planning*. Vol. XXV, Nº 1, January-March.

APÊNDICE E – Artigos publicados/aceitos fruto de parcerias

**E.1 Artigo aceito e publicado em anais de congresso -
Wavalia Aracaju 2011**

Análise do Desempenho Discente em um Ambiente Virtual de Aprendizagem Através de Decomposições Tensoriais Multilineares

**F. H. L. Vasconcelos¹, T. E. V. Silva¹, P. R. B. Gomes¹, A. O. Nunes¹
W. B. Andriola¹, A. L. F. de Almeida², J. C. M. Mota²**

¹Universidade Federal do Ceará (UFC) – Instituto UFC Virtual
Campus do Pici, Bloco 901, CEP: 60.455-760 – Fortaleza – CE – Brasil

²Departamento de Engenharia de Teleinformática (DETI-UFC)
Grupo de Pesquisa em Telecomunicações Sem Fio (GTEL)

herbert@virtual.ufc.br, {andre, jmota}@gtel.ufc.br

Abstract. *This paper presents the use of tensor decomposition model as Tucker3 data analysis tool of assessment of student learning in a undergraduate semi-present in a LE. We describe the main characteristics of multilinear algebra, tensor analysis and algorithm alternating least squares with the model Tucker3. Computational experiments are performed with the data of the marks obtained by students in forums, portfolio and chat. The results demonstrate to the viability of application of tensor decomposition in the investigation of dynamic internal educational processes.*

Resumo. *Este artigo apresenta o uso do modelo de decomposição tensorial Tucker3 como ferramenta de análise de dados da avaliação da aprendizagem de alunos em um curso de graduação semi-presencial em um AVA. São descritas as principais características da álgebra multilinear, da análise tensorial e do algoritmo de mínimos quadrados alternados com o modelo Tucker3. Experimentos computacionais são realizados com os dados coletados das notas obtidas pelos alunos em fóruns, portfólio e chat. Os resultados alcançados demonstram a viabilidade da aplicação da decomposição tensorial na investigação da dinâmica interna de processos educacionais.*

1. Introdução

O processo de Avaliação da Aprendizagem sempre foi de fundamental importância em todos os sistemas e programas educacionais, sejam eles presenciais ou não. Em um contexto mais amplo, a avaliação educacional da aprendizagem discente deve ser vista como um processo que tem como finalidade responder questionamentos, verificar, mensurar e classificar de forma efetiva fatos do aprendizado dos alunos.

O desafio da avaliação se amplifica no âmbito nacional, se considerarmos os novos contextos e as novas modalidades de ensino por meio de cursos de graduação semi-presenciais, tais como os realizados pelo projeto Universidade Aberta do Brasil (UAB) do Ministério da Educação (MEC) em parceria com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES). Estes cursos se utilizam de tecnologias computacionais de informação e comunicação em rede, por meio de Ambientes Virtuais de

Aprendizagem (AVA) para promover a oferta de disciplinas de graduação em nível de Licenciatura e Bacharelado através das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) [David et al. 2007].

Segundo [Bassani and Behar 2009] apesar da diversidade de ambientes virtuais atualmente, percebe-se que existem características em comum entre eles: permitem acesso restrito a usuários previamente cadastrados; disponibiliza espaço para a publicação de material do professor (referente as aulas) e espaço destinado ao envio/armazenamento de tarefas realizadas pelos alunos; possuem um conjunto de ferramentas de comunicação síncronas e assíncronas, como *chat* e fóruns de discussões, dentre outros.

Neste contexto, uma das problemáticas que surge é que se por um lado os AVA permitem a centralização de todas as informações referentes a um curso, por outro lado o gerenciamento de tal fluxo de informações fica sobre a responsabilidade de cada participante, e o professor, percebe-se diante de um emaranhado de informações, diluídas entre as várias ferramentas [Bassani and Behar 2009].

Diversos estudos [Bassani 2006] vêm sendo realizados sobre o desenvolvimento de ferramentas específicas para o mapeamento das interações que se constituem nesses ambientes, possibilitando o acompanhamento da frequência e da produção de cada aluno, de forma a contemplar o processo de avaliação da aprendizagem. Entretanto, o que se percebe é que estas pesquisas se limitam apenas a análises qualitativas e não investigam a dinâmica do desempenho discente ao longo do processo de aprendizagem em um AVA e nem consideram as diversas dimensões e variáveis envolvidas, os quais refletem seguramente diversos elementos que compõem a relação ensino e aprendizagem.

Diante desta perspectiva o objetivo deste artigo é apresentar uma proposta de análise quantitativa e qualitativa multivariada de dados utilizando técnicas matemáticas computacionais da álgebra multilinear através de decomposições tensoriais aplicadas ao processo de avaliação discente.

Este artigo está organizado em seis seções. Na seção 2, apresentam-se os conceitos do processo de avaliação do aprendizado, que se refletem em objetivos utilizados neste trabalho. Na seção 3, ilustram-se as ferramentas de análise de dados da álgebra multilinear ou multimodal e descreveremos os principais modelos e técnicas de fatorização ou decomposição tensorial da informação, tais como o modelo Tucker3 e o algoritmo utilizado para sua implementação - ALS (Alternating Least Squares). Na seção 4, descrevem-se os procedimentos metodológicos de investigação e de coleta de dados desta pesquisa e na seção 5, apresenta-se a análise dos resultados e as interpretações obtidas com a aplicação do modelo Tucker3. Por fim, na seção 6 são discutidas as considerações finais deste artigo e de suas perspectivas futuras.

2. O Processo de Avaliação da Aprendizagem e seu Delineamento em AVA

Avaliação da aprendizagem surgiu com o desafio em usar procedimentos e técnicas para medir, mensurar ou mesmo quantificar a aprendizagem dos indivíduos. De acordo com [Andriola 2002] a aprendizagem pode ser considerada a mudança qualitativa e estável ocorrida no âmbito das capacidades cognitivas de memorização, compreensão, aplicação, análise, síntese e julgamento, dentre outras. Deste modo a avaliação da aprendizagem tornou-se uma atividade complexa, fundamentada no pensamento descritivo, analítico

e crítico e o seu enfoque não esta mais apenas no aluno e no seu rendimento e sim em questões mais amplas e implícitas que vão além de processos lineares de medida e mensuração. Segundo [Andriola 2002], alguns procedimentos sistemáticos de avaliação podem estar vinculados a aplicação de testes ou provas de rendimentos, questionários, seminários, observações em sala de aula, execução de tarefas e outros. Destaca-se ainda que tais procedimentos são em muitos casos aplicados com o objetivo de avaliar as capacidades cognitivas características do processo de aprendizagem associadas a determinados conteúdos ou objetivos curriculares [Andriola 2011]. Deste modo, as sistemáticas de avaliação objetivam fornecer subsídios importantes, para que os responsáveis pela gerência e planejamento de ações em educação possam tomar decisões mais embasadas, visando o aperfeiçoamento do processo de transformações do homem. [Andriola 2003].

Portanto, a avaliação da aprendizagem não pode ser concebida apenas como uma atividade racional e classificatória para se fazer comparações ou estabelecer um padrão, mas também identificar as transformações e aquisições de conhecimento de novas aprendizagens, por meio de um processo pelo qual se pode determinar em que medida ou intensidade tais mudanças de fato ocorrem. Entretanto, a identificação de tais transformações são difíceis de ocorrer, visto que, diante de um enfoque da teoria de sistemas, as relações de aprendizagem sobre os objetos observados antes (entradas) e depois (saídas) do uso dos métodos e/ou procedimentos usados nas transformações de conhecimento (do existente para o existente e adquirido) são admitidas e modeladas como relações não-lineares. Neste artigo, portanto, propomos o uso de técnicas e ferramentas de análise matemática de dados multivariados, desenvolvidas em álgebra multilinear, apropriadas para o tratamento não-linear da informação e que serão aplicadas a avaliação numérica referente ao desempenho de discentes em um AVA. Nas seções que se seguem, serão explorados os fundamentos teóricos destas ferramentas e o desenvolvimento da pesquisa realizada.

3. Álgebra Tensorial e Análise Multilinear

3.1. Preliminares sobre Tensores

Segundo [Kolda and Bader 2009] um tensor é um ordenamento de dados multidimensionais que pode variar de acordo com sua ordem, sendo o de *ordem zero* um número ou um escalar, de *primeira ordem* um vetor, o de *segunda ordem* uma matriz e de *ordens superiores* um tensor de três ou mais dimensões.

Nas matrizes é útil organizar seus elementos componentes ou entradas, tais como vetores-linhas ou vetores-colunas. Os tensores ou ordenamentos de três dimensões, também podem ter seus elementos organizados em seções bi-dimensionais, as quais podem ser dispostas em fatias planas ou *slices* horizontais, laterais ou frontais, conforme a Figura 1. Vale a pena destacar que neste caso, os elementos dos tensores encontram-se geomatricamente no ponto de encontro dos três planos perpendiculares entre si.

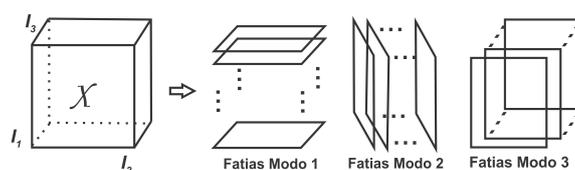


Figura 1. Fatias de um Tensor: Frontais, Laterais e Horizontais.

3.2. Operações Tensoriais Elementares

Algumas operações básicas tensoriais são necessárias para a manipulação e a implementação de algoritmos que analisam uma estrutura multidimensional de dados. Nas subseções a seguir, iremos apresentar tais operações.

3.2.1. Produtos Tensoriais

O desenvolvimento e a descrição de modelos multidimensionais exigem operações que vão além do produto usual de matrizes. Três outros tipos de produtos relacionando matrizes são introduzidos, são eles: (i) produto de Kronecker (\otimes) [Magnus and Neudecker 1988][Searle 1982], (ii) Hadamard (\diamond) e (iii) Khatri-Rao (\odot) [McDonald 1980] [Rao and Mitra 1971]. O produto de Kronecker escreve facilmente o modelo de decomposição Tucker3, a ser visto na seção 3.3.2.

3.2.2. Matriciação ou Sub-Ordenamentos

As operações implicadas nos elementos que compõem os tensores representam os cálculos algébricos frutos dos procedimentos necessários das informações nos sistemas em foco. Assim é necessário associar as estruturas tensoriais às operações algébricas entre as componentes. Para isto, é realizada inicialmente a operação de matriciação do tensor, conforme pode ser visto como uma das possibilidades na Figura 2 Nesta figura, o ordenamento tridimensional \mathcal{X} ($I_1 \times I_2 \times I_3$) é matriciado como uma matriz concatenada horizontalmente pelas matrizes fatiadas frontalmente dispostas no tensor, formando uma grande matriz $X_{(I_1 \times I_2 I_3)}$. Existem duas outras formas de matriciar \mathcal{X} em matrizes concatenadas, cujas dimensões são: ($I_2 \times I_1 I_3$) e ($I_3 \times I_1 I_2$).

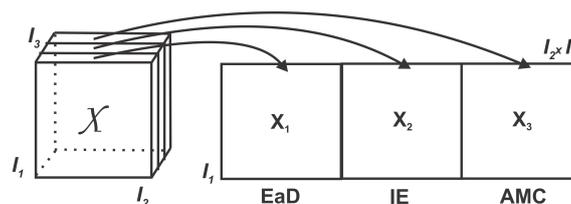


Figura 2. Matriciação Modo 1 do Tensor.

Existem diferentes diádicas planas utilizadas na literatura para a matriciação, por exemplo, desdobramento, justaposição e concatenação, conforme pode ser visto em [Smilde et al. 2004].

3.3. Decomposições Tensoriais Multilineares

As aplicações das decomposições tensoriais surgiram do interesse em decompor medidas de fatores elementares, ou seja, informações que interagem entre si. Historicamente as decomposições tensoriais foram iniciadas por Hitchcock em 1927 [Smilde et al. 2004], aprofundados por Cattelin em 1944 [Cichocki et al. 2009] e por Tucker em 1966 [Kroonenberg 2008]. Esses conceitos e abordagens receberam mais atenção depois que

Carroll e Chang propuseram a Decomposição Canônica (do inglês *CANonical DE-COMPosition* - *CANDECOMP*)[Carroll and Chang 1970] e independentemente Harshman propôs um modelo equivalente chamado Análise de Fatores Paralelos (do inglês *Parallel Factor Analysis* - *PARAFAC*)[Harshman 1970].

Muitos dos resultados sobre decomposições tensoriais surgiram na área da psicometria [Kroonenberg 2008]. No entanto, diversas áreas estão se destacando cada vez mais na utilização de decomposições tensoriais, tais como: quimiometria [Andersen and Bro 2003][Smilde et al. 2004], neurociência [Cichocki et al. 2009], processamento de sinais em comunicação [Almeida et al. 2008], processamento de imagens, álgebra linear numérica, visão computacional, análise gráfica e outras.

3.3.1. Análise de Fatores Paralelos - *PARAFAC*

No modelo *PARAFAC/CP/CANDECOMP* um ordenamento de dados é decomposto na soma de produtos triplos ou tríades. Deste modo a decomposição *PARAFAC* é dada pela decomposição do ordenamento multimodal em tensores de *rank-1* [Almeida et al. 2008], conforme a equação abaixo:

$$x_{i_1, i_2, i_3} = \sum_{q=1}^Q a_{i_1, q} b_{i_2, q} c_{i_3, q} \quad (1)$$

3.3.2. Decomposição Tensorial Tucker3

O modelo de decomposição Tucker3 foi proposto por Ledyard R. Tucker em [Tucker 1966]. Este modelo descreve componentes em três dimensões, incluindo o significado de cada dimensão em relação a cada ocasião estudada, conforme pode se verificar na Figura 3. Essa interrelação entre as componentes é ponderada por um tensor núcleo \mathcal{G} completo, que indica a relação de peso existente na significância das relações entre as componentes.

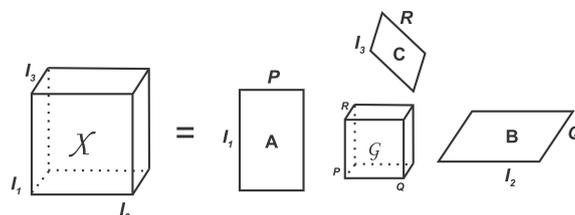


Figura 3. Representação pictórica da decomposição pelo modelo Tucker3.

A generalização do modelo considera que o elemento na posição (i_1, i_2, i_3) do tensor \mathcal{X} é representado na formata Equação 2:

$$x_{i_1, i_2, i_3} = \sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q \sum_{r=1}^R a_{i_1 p} b_{i_2 q} c_{i_3 r} g_{p, q, r} + e_{i_1, i_2, i_3} \quad (2)$$

No qual o erro é representado por (e_{i_1, i_2, i_3}) e os fatores $a_{i_1 p}$, $b_{i_2 q}$ e $c_{i_3 r}$ são elementos das matrizes A , B e C respectivamente. O elemento g_{pqr} é um elemento do tensor núcleo \mathcal{G} . No modelo de Tucker, um Tensor \mathcal{X} de dimensão $P \times Q \times R$ indica que o modelo tem P , Q e R fatores em três diferentes modos.

Podemos representar o modelo de Tucker utilizando a notação do produto de Kronecker, como segue na Equação 3 abaixo:

$$X = AG(B \otimes C)^T + E \quad (3)$$

No qual as matrizes G e E são formadas pela matriciação dos respectivos tensores. O modelo Tucker3 possui algumas das propriedades da decomposição em valores singulares, em particular, que permite uma decomposição completa de um ordenamento de três modos. O modelo tem unicidade em seus subespaços, entretanto, como propriedade principal das suas componentes temos a falta dessa unicidade [Kroonenberg 2008].

3.3.3. Algoritmo ALS

Originalmente, os algoritmos propostos para a modelagem dos modelos Tucker não utilizam o método de mínimos quadrados para a determinação dos elementos das matrizes do modelo. Entretanto, é adotado um algoritmo iterativo baseado no princípio dos mínimos quadrados alternados que gera o ajuste dos parâmetros implícitos no problema [Smilde et al. 2004].

Função perda do ajuste do algoritmo e dada por:

$$F_{perda} = \|X - AG(C \otimes B)^T\|^2 \quad (4)$$

O algoritmo de mínimos quadrados alternados (ALS, do inglês *Alternating Least Squares*) pode ser utilizado no modelo de Tucker3 com matrizes de carregamento.

O Modelo Tucker3 com restrição de ortogonalidade pode ser implementado a partir dos seguintes passos:

1. Iniciar Randômicamente B e C.
2. Utilizando $X_{I_1 \times I_2 I_3}$, para estimar A

$$[A, S, V] = SVD[X_{I_1 \times I_2 I_3}(C \otimes B)]$$

3. Utilizando $X_{I_2 \times I_1 I_3}$ para estimar B

$$[B, S, V] = SVD[X_{I_2 \times I_1 I_3}(C \otimes A)]$$

4. Utilizando $X_{I_3 \times I_1 I_2}$ para estimar C

$$[C, S, V] = SVD[X_{I_3 \times I_1 I_2}(B \otimes A)]$$

5. Voltar ao passo 2 até a convergência do algoritmo ser satisfeita.
6. Calcular o tensor núcleo \mathcal{G} na sua forma matriciada.

$$G = A^T X(C \otimes B)$$

A atualização de A , B e C ocorre iterativamente e também atualiza G implicitamente. Portanto, o tensor núcleo precisa ser explicitamente calculado apenas uma vez após a convergência obtida [Smilde et al. 2004].

4. Procedimentos da Pesquisa

Para a realização deste trabalho de pesquisa e investigação dos principais fatores e características implícitas ao processo de avaliação de aprendizagem com o uso do modelo de decomposição tensorial Tucker3 foi realizado um experimento computacional com dados multidimensionais.

4.1. Caracterização dos Dados Coletados

A análise multivariada foi realizada em um conjunto de dados multimodo, composto por um ordenamento multidimensional de notas obtidas por alunos, que variam em um intervalo de 0 a 10, que eram participantes de disciplinas ofertadas em caráter semi-presencial em um AVA.

O conjunto de dados resultante apresentava uma estrutura multimodo de notas obtidas pelos alunos e caracterizada por: (i) *Dimensão Alunos*: 61 alunos participantes de um curso de Graduação Semi-Presencial de Licenciatura em Física de uma IFES; (ii) *Dimensão Atividades*: 5 atividades no AVA (a aprendizagem dos alunos foi avaliada através da participação dos mesmos em atividades de 3 Fóruns, 1 Portfólio e 1 Chat, por meio de uma avaliação processual ou formativa que foi realizada ao longo do processo de ensino-aprendizagem e corresponde a uma concepção do ensino que considera que aprender é um longo processo por meio do qual o aluno reestrutura seu conhecimento a partir das atividades que executa [Bassani and Behar 2009]); e (iii) *Dimensão Disciplinas*: 3 disciplinas distintas da componente curricular da formação tecno-pedagógica do projeto político pedagógico do curso, pertencentes respectivamente ao 1º, 2º e 3º semestres. As disciplinas selecionadas para a pesquisa foram as seguintes: 1. Introdução a Educação a Distância (EaD), 2. Informática Educativa (IE) e 3. Aprendizagem Mediada pelo Computador (AMC) e estão representadas nos *slices* matriciados no Modo 1 do Tensor da Figura 2. As simulações computacionais foram realizadas com funções e algoritmos implementados e disponíveis no Toolbox N-Way [Bro 1997][Kiers 1992] do *software* MATLAB®.

5. Análise e Discussão dos Resultados

Após a realização das simulações computacionais com a aplicação do Modelo Tucker3 no ordenamento de dados analisado, os resultados das matrizes de decomposição A , B e C e o tensor núcleo G foram obtidos. A partir dos resultados obtidos nas decomposições, iremos propor neste artigo 3 (três) categorias qualitativas de componentes que irão representar a dinâmica de composição da avaliação da aprendizagem obtida pelos discentes.

5.1. Proposta de Categorização Qualitativa de Composição da Avaliação Discente

De acordo com o modelo Tucker3 (ver seção 3.3.2), o modo representado pela Matriz A descreve a relação entre os *Alunos* participantes do curso e a variação do valor das componentes resultantes da decomposição que serão chamadas de Dimensão de Aprendizagem. Estas componentes serão representadas pelas seguintes categorias: CC (*Componente Curricular*), MP (*Metodologia do Professor*) e CA (*Critérios de Avaliação*). O

modo representado pela Matriz B corresponde as notas das *Atividades* realizadas ao longo da disciplina, descrevendo a sua variação por tipo de atividade realizada no AVA. A Matriz C representa o modo *Disciplinas* e indica a diferença entre a variação dos valores das componentes em relação as disciplinas analisadas.

As três dimensões de Aprendizagem (CC, MP e CA) presentes no processo de avaliação, que serão consideradas neste artigo, foram obtidas a partir de testes de variância explicada realizados nos dados analisados pelo Toolbox N-Way [Bro 1997][Kiers 1992]. Outros detalhes deste procedimento podem ser obtidos em [Smilde et al. 2004].

5.2. Resultados da Decomposição Tucker3: Análise Quantitativa das Categorias

A análise da avaliação do desempenho discente proposta neste artigo, através do Modelo Tucker3, é efetuada visando a decomposição do conjunto de dados em três fontes de informações propostas: CC (*Componente Curricular*), MP (*Metodologia do Professor*) e os CA (*Critérios de Avaliação*) e que foram identificadas nas três disciplinas (EaD, IE e AMC).

A Figura 4 apresenta os três fatores de B relacionados à variação das componentes em relação aos tipos de atividades que foram realizadas pelos alunos e avaliadas pelos professores no AVA. A variação descrita pelos fatores indica a existência dos três processos referêntes a CC, MP e CA.

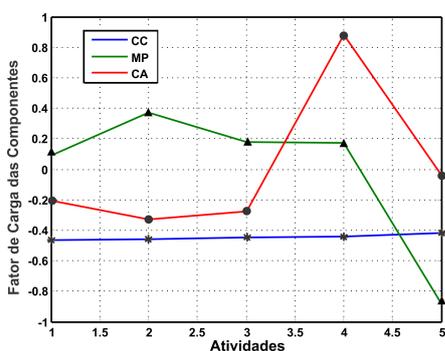


Figura 4. Fatores Resultantes da Matriz B.

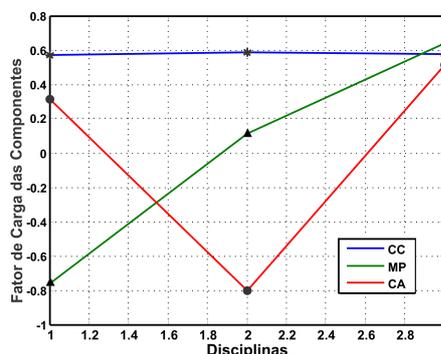


Figura 5. Fatores Resultantes da Matriz C.

Neste caso o *primeiro fator* está relacionado diretamente as características curriculares (CC) das atividades propostas ao longo das três disciplinas no AVA. Observa-se que o valor permanece praticamente constante, pois as 5 atividades virtuais propostas por estas disciplinas possuem conteúdos com o mesmo grau de dificuldade e com características semelhantes o que pode influenciar da mesma forma no valor da nota. Este fato se justifica, pois a ementa destas disciplinas apresentam assuntos equivalentes e tratam de forma conceitual sobre a introdução de tecnologias no contexto educacional.

O *segundo fator* estaria ligado a MP que sofre um crescimento no início devido ao fato de que nas atividades iniciais referêntes aos *Fóruns* as participações dos alunos ocorrem de maneira acentuada e em grande volume. Logo em seguida, há um decaimento nos valores das componentes, indicando que a atividade de *Portfólio* e por último a de *Chat*, foram aquelas em que a participação diminuiu e é necessária a efetiva intervenção do professor como mediador dos conteúdos.

Por fim o *terceiro fator*, esta relacionado aos CA, em que se observa que os critérios de avaliação são mantidos praticamente constantes nas atividades de *Fórum*, mas que sofrem um elevado crescimento em relação a atividade de *Portfólio*. Isso ocorre devido a produção textual e escrita dos trabalhos de portfólio terem sido as atividades com os critérios de avaliação mais rigorosos por parte dos professores das disciplinas. Observa-se ainda nos valores desta componente que há um decaimento em relação ao *Chat*, o que indica que os critérios desta atividade são equivalentes aos dos *Fóruns*.

A Figura 5 apresenta os fatores relacionados as componentes em relação as três disciplinas analisadas. Observa-se que em relação ao CC este valor constante observado no gráfico estaria ligado ao fato das disciplinas pertencerem a mesma componente curricular e por isso apresentarem características semelhantes em termos de conteúdo, ementa e fundamentação teórica, como pode ser constatado no projeto político-pedagógico do curso.

Neste caso, observa-se que o *segundo fator*, referênte a metodologia do professor, possui um valor elevado no início, pois a disciplina de EaD é a primeira a ser cursada pelos alunos no curso semi-presencial e as atividades realizadas no AVA exigem uma presença intensa do docente em intervenções constantes e no incentivo a autonomia e ambientação do aluno nesta nova modalidade de ensino. Percebe-se que há um decaimento em relação a segunda disciplina (IE), pois esta é realizada incentivando o aluno há desenvolver ações com iniciativas próprias, além da produção e elaboração de atividades independentes. Já em relação a disciplina de AMC, observa-se um crescimento significativo, em relação as outras duas disciplinas. Isto ocorre devido a AMC ser uma disciplina obrigatória e com uma maior carga de conteúdo em relação as demais, o que implica em uma maior influência da MP.

Em relação aos CA aplicados pelos professores, observa-se que há um crescimento constante. Este fato é justificado pelo nível de dificuldade e rigor na avaliação ser crescente a medida que as disciplinas ocorreram nos semestres iniciais (1o. Semestre - EaD), para semestres intermediários (3o. Semestre - IE) e na parte final do curso (5o. Smestre - AMC). Além disso, como estas disciplinas pertencem a mesma componente curricular, naturalmente alguns conteúdos já estudados em disciplinas anteriores, serão exigidos do aluno como pré-requisito para a realização de atividades avaliadas nas disciplinas seguintes.

6. Considerações Finais

A interpretação dos resultados obtidos com a realização deste trabalho discutem a presença de características implícitas ao processo de avaliação discente, presentes em um conjunto de dados multidimensionais formados por um tensor de notas obtidas por *alunos* em *atividades/tarefas* distintas em um AVA, realizadas em diferentes *disciplinas* de um curso de Graduação Semi-Presencial. A aplicação das técnicas de decomposição tensorial por meio do modelo Tucker3 possibilitou a decomposição das informações associadas aos elementos presentes ao longo do curso.

Este trabalho apresenta uma contribuição da aplicação destas sofisticadas técnicas de análise de dados multivariados em processos de avaliação da aprendizagem por meio de decomposições tensoriais. Este procedimento será denominado neste artigo de Educa-metria, devido ao fato de que tais técnicas já terem sido utilizadas em uma área da Psico-

logia denominada de Psicometria [Kroonenberg 2008]. Embora o uso das decomposições sejam amplamente utilizadas em diversas áreas do conhecimento [Kroonenberg 2008] [Andersen and Bro 2003] [Almeida et al. 2008], este artigo apresenta uma aplicação na área da Educação com análise multivariada de dados e investiga e descreve a dinâmica do processo de ensino-aprendizagem que ocorre em um sistema de avaliação do desempenho discente.

Uma avaliação da aprendizagem em AVA pautada apenas em acessos e número de mensagens postadas quanto no conteúdo, enfatiza apenas o produto em relação ao processo. Entretanto, a análise multilinear dos dados realizada neste artigo, mostra que o intercruzamento desses critérios e características pode potencializar a avaliação da aprendizagem em ambientes virtuais, já que permite uma ressignificação dos dados quantitativos. Deste modo os dados quantitativos não são considerados apenas como critério de avaliação, mas como possibilidade de intervenção pedagógica [Bassani and Behar 2009][Bassani 2006].

Observa-se ainda que embora a análise dos dados resultante da decomposição Tucker3, não seja direta ou trivial, é possível se extrair e identificar informações práticas e importantes do conjunto de dados investigados. Trabalhos futuros apontam para o refinamento da análise dos dados obtidas com a decomposição do modelo Tucker3, para a interpretação dos valores obtidos na matriz A e do tensor Núcleo \mathcal{G} para o aprofundamento sobre os limites e possibilidades do uso da álgebra multilinear e das decomposições tensoriais na investigação do processo de avaliação educacional.

Referências

- Almeida, A. L. F., Favier, G., and Mota, J. C. M. (2008). Constrained tensor modeling approach to blind multiple-antenna cdma schemes. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 56(6):2417–2428.
- Andersen, H. C. and Bro, R. (2003). Practical aspects of parafac modeling of fluorescence excitation-emission data. *Journal of Chemometrics*.
- Andriola, W. B. (2002). *Detección del funcionamiento diferencial del item en tests de rendimiento. Aportaciones teóricas y metodológicas*. PhD thesis, Universidad Complutense de Madrid.
- Andriola, W. B. (2003). *Psicologia Argumento*, chapter Cuidados na avaliação da aprendizagem: algumas reflexões, pages 157–168.
- Andriola, W. B. (2011). *O pensamento pedagógico hoje*, chapter Avaliação da aprendizagem de alunos: Análise panorâmica acerca de conceitos e procedimentos metodológicos, pages 198–224.
- Bassani, P. S. (2006). *Mapemamento das interações em ambiente virtual de aprendizagem: uma possibilidade para avaliação em educação a distância. Tese (Doutorado)*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PPGIE, Porto Alegre.
- Bassani, P. S. and Behar, P. A. (2009). *Modelos Pedagógicos em Educação a Distância. Avaliação da Aprendizagem em Ambientais Virtuais*. Artmed.
- Bro, R. (1997). Parafac. tutorial and applications. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 38.

- Carroll, J. D. and Chang, J. J. (1970). Analysis of individual differences in multidimensional scaling via an nway generalization of "eckart young" decomposition. *Psychometrika*.
- Cichocki, A., Zdunek, R., Phan, A. H., and Amari, S. (2009). *Nonnegative Matrix and Tensor Factorizations*. Wiley.
- David, P. B., Pequeno, M. C., da Silva, A., Souza, C. F., Júnior, G. S. V., de Castro Filho, J. A., Ventura, P. P. B., and Maia, S. (2007). Avaliação da aprendizagem em educação a distância numa perspectiva sócio-interacionista. *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.
- Harshman, R. (1970). Foundations of the parafac procedure: Model and conditions for an "explanatory" multi-mode factor analysis. *UCLA Working Papers in Phonetics*, pages 16:1–84.
- Kiers, H. A. L. (1992). Tuckals core rotations and constrained tuckals modelling. *Statistica Appl.*
- Kolda, T. G. and Bader, B. W. (2009). Tensor decompositions and applications. *SIAM REVIEW*, 51.
- Kroonenberg, P. M. (2008). *Applied Multiway Data Analysis*. Wiley.
- Magnus, J. R. and Neudecker, H. (1988). *Matrix Differential Calculus with Applications in Statistics and Econometrics*. John Wiley & Sons.
- McDonald, R. P. (1980). A simple comprehensive model for the analysis of covariance structures: some remarks on applications. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, page 161 a 183.
- Rao, C. R. and Mitra, S. K. (1971). *Generalized Inverse of Matrices and its Applications*. John Wiley & Sons.
- Searle, S. R. (1982). *Matrix Algebra Useful for Statistics*. John Wiley & Sons.
- Smilde, A., Bro, R., and Geladi, P. (2004). *Multi-way Analysis with Applications in the Chemical Sciences*. Wiley.
- Tucker, L. (1966). Some mathematical notes on three-mode factor analysis. *Psychometrika*, 31:279–331.

**E.2 Artigo aceito e publicado em anais de congresso -
*Computer on the Beach Florianopolis 2012***

Análise de Componentes Principais Aplicada a Avaliação Discente: Um Estudo de Caso em Ambientes Virtuais de Aprendizagem

**T. E. V. Silva, T. I. A. Souza, F. F. Barros Filho, F. J. Santos, P. R. B. Gomes, G. Ribeiro
A. O. Nunes, F. H. L. Vasconcelos**

¹Universidade Federal do Ceará (UFC)
GPEC - Grupo de Pesquisa em Modelagem Computacional Aplicada
Campus do Pici – Fortaleza – CE – Brasil

{thomazveloso, thiagoiachiley}@gmail.com, herbert@virtual.ufc.br

Abstract. *This paper describes the use of principal component analysis (PCA) as a tool for data analysis of student learning assessment in undergraduate course. Linear transformations will be described referring to the mathematical model and the software used for your application. This experiment was applied to data collected in the form of scores obtained by students in activities of forums, chat and portfolios in a Virtual Learning Environment. The results suggest activities and content that have high degrees of correlation, and the degree of significance of the scores obtained in certain activities.*

Resumo. *Este artigo descreve a utilização da análise de componentes principais (PCA) como ferramenta de análise de dados da avaliação de aprendizagem discente em cursos de graduação semi-presencial. Serão descritas as transformações lineares referentes ao modelo matemático, bem como o software utilizado para sua aplicação. Esse experimento foi aplicado em dados coletados na forma de notas obtidas pelos alunos em atividades de fóruns, chat e portfólios em um Ambiente Virtual de Ensino. Os resultados sugerem atividades e conteúdos que apresentam elevados graus de correlação, além dos graus de significância das notas obtidas em determinadas atividades.*

1. Introdução

Avaliação é um ato ou efeito de mensurar, dar valor. De acordo com [Andriola 2002], a avaliação é um processo que implica uma reflexão crítica sobre a prática, no sentido de captar seus avanços, suas resistências, suas dificuldades e possibilitar uma tomada de decisão sobre o que fazer para superar os problemas identificados.

Tratando-se de avaliação que tipos de critérios básicos são utilizados neste processo? O que é avaliado em uma atividade/tarefa? Quais são os resultados que o professor espera de seus alunos? Quais as relações existentes entre conteúdos de mesma área do conhecimento? Portando, entende-se que a avaliação é um processo de decisão seletiva, um processo que envolve conteúdos e objetivos e que dessa forma permeia com bastante ênfase o campo da subjetividade [Bassani and Behar 2009].

No contexto da avaliação da aprendizagem em Educação a Distância (EaD), diversos trabalhos [Sales et al. 2008][Vasconcelos 2008] apontam para o desenvolvimento

de ferramentas avaliativas dos recursos trabalhados nos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA). Para [Bassani 2006] os AVA dispõem de diversas informações de registro, tais como: datas e horários de acesso, participação nos fóruns e chats, testes online, dentre outras. Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho é propor a aplicação da técnica de redução de dimensionalidade, denominada Análise de Componentes Principais (do inglês *Principal Components Analysis - PCA*[Moita-Neto 2009]), em notas obtidas pelos alunos nos fóruns, chat e portfólios bem como a correlação existente entre as atividades/conteúdos em duas disciplinas de mesma componente curricular de uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES).

Este artigo está organizado em sete seções. Na seção 2 será feito um breve estudo da literatura, apontando os trabalhos atuais que utilizam análise de dados. Na seção 3, será apresentada alguns conceitos sobre avaliação da aprendizagem em Ensino a Distância. A seção 4 ilustra a ferramenta matemática de análise de dados, o PCA. Na seção 5, descrevem-se os procedimentos metodológicos de investigação e coleta de dados desta pesquisa, bem como o *software* utilizado para a análise. Na seção 6 é apresentado a análise dos resultados obtidos com a aplicação do método PCA. Por fim, na seção 7 são discutidas as considerações finais deste trabalho e suas perspectivas futuras.

2. Trabalhos Relacionados

Uma motivação para este trabalho foi uma afirmação feita por [Soares 2005] onde ele diz que a "hostilidade em relação aos métodos quantitativos e à estatística (na ciência social brasileira)". Realizando um breve estudo na literatura, encontramos o trabalho de [Santos and Coutinho 2000] o qual corrobora com esse diagnóstico. Isso se deve ao fato que os dados levantados por esse autores apontam para uma mesma inferência: a utilização de técnicas básicas de estatística descritiva e inferencial ainda é bastante limitada nas Ciências Sociais brasileira, entre elas a educação. Alguns trabalhos recentes na área da educação [Almeida and Pimentel 2010] [Baker et al. 2011] investigam base de dados provenientes do processo de ensino aprendizagem. De acordo com [Baker et al. 2011], as informações relacionadas aos dados podem ser úteis para a tomada de decisão mais coerente por parte do professor.

3. Avaliação da Aprendizagem

No entender de [David et al. 2007], para não ser autoritária e conservadora, a avaliação tem a tarefa de ser diagnóstica, ou seja, deverá ser o instrumento dialético do avanço do aluno, e terá de ser o instrumento da identificação de novos rumos. Ainda de acordo com [David et al. 2007], a avaliação deverá, verificar a aprendizagem não só a partir dos requisitos mínimos para aprovação, mas a partir dos requisitos necessários para uma absorção significativa do conteúdo. Enfatiza também a importância dos critérios, pois a avaliação não poderá ser praticada sob dados inventados pelo professor, apesar da definição desses critérios não serem fixos e imutáveis, modificando-se de acordo com a necessidade de alunos e professores.

3.1. Avaliação da Aprendizagem em AVA

De acordo com [Bassani and Behar 2009], a definição de um processo de avaliação coerente tem sido uma das dificuldades que se destacam na modalidade EaD. Um dos contextos atuais da EaD no Brasil, é o programa Universidade Aberta do Brasil (UAB), que

se utiliza de tecnologias computacionais de informação e comunicação através de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) para promover cursos de extensão, graduação e pós-graduação.

Com o crescimento da utilização desses ambientes em diversas instituições de ensino [Sales et al. 2008], [Vasconcelos 2008] abordam o desenvolvimento de ferramentas com o objetivo de melhorar o processo de avaliação da aprendizagem. Essa preocupação é importante, pois nesses ambientes o conhecimento é concretizado a partir de interações entre os participantes, onde cada um constrói seu conhecimento a partir da perspectiva do outro.

Segundo [Bassani 2006] os AVAs possibilitam o acompanhamento da frequência e da produção de cada aluno, dessa forma esses ambientes tornam-se uma grande base de dados que armazenam: frequência e assiduidade (são salvas datas e horários de acesso ao ambiente e ferramentas disponibilizadas), resultados dos testes, trabalhos realizados com datas para entrega pré-estabelecidas pelos professores, dessa forma as atividades entregues após o período pré-estabelecido não são aceitas, e mensagens trocadas entre os participantes de uma determinada atividade ou curso a partir de fóruns de discussão ou chats.

Para [Bassani and Behar 2009] a avaliação em AVAs pode ser entendida a partir das seguintes perspectivas: avaliação por meio de testes on-line apresenta limitações, pois os alunos devem responder um conjunto de questões predefinidas e cabe ao sistema computacional realizar as correções, dessa forma a nota final é vista como um produto do conhecimento; avaliação da produção individual deve ser feita cada vez mais no âmbito coletivo, pois possibilita ao professor o acompanhamento do processo de construção de conceitos por parte dos alunos e torna-o consciente de seu processo de aprendizagem.

4. Análise de Componentes Principais - PCA

A Análise de Componentes Principais (PCA) é um dos métodos da estatística multivariada, que tem por finalidade identificar a relação entre características extraídas dos dados visando sua redução, eliminação de sobreposições e a escolha das formas mais relevantes dos mesmos a partir de combinações lineares das variáveis originais [Moita-Neto 2009]. Sendo também denominada como Transformada de Hotelling, o PCA transforma variáveis discretas em coeficientes descorrelacionados através de uma transformação linear aplicada nos dados, de modo que, os dados resultantes tenham suas componentes mais relevantes nas primeiras dimensões, denominadas como componentes principais [Lay 2007].

Como princípio para o cálculo do PCA, considere um vetor aleatório $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$, contendo p componentes, com um vetor de médias $\mu = E(X) = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)$. A matriz de Covariâncias do vetor aleatório X , quadrada de dimensão p , é denotado por: $Cov(X) = \Sigma_{p \times p}$. A matriz de covariância é uma matriz simétrica, não negativa, ou seja, $a^T \Sigma a > 0$ para todo vetor de constantes $a \in R^p$. Esta condição implica que os autovalores da matriz $\Sigma_{p \times p}$ denotados por $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$, são não-negativos, ou seja, $\lambda_i \geq 0$, para qualquer $i = 1, 2, \dots, p$ (Graybill, 1983).

Pelo teorema da Decomposição Espectral [Lay 2007], sendo $\Sigma_{p \times p}$ uma matriz de covariância, existe uma matriz ortogonal $O_{p \times p}$, isto é, $O^T O = O O^T = I$, tal que:

$$O^T \Sigma O = \Theta \quad (1)$$

em que $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$, são os autovalores da matriz $\Sigma_{p \times p}$ ordenados em ordem decrescente. Nesse caso, dizemos que a matriz $\Sigma_{p \times p}$ é similar a matriz Θ .

A i -ésima coluna da matriz Θ é o autovetor normalizado e_i correspondente ao autovetor λ_i , com $i = 1, 2, \dots, p$; que é denotado por $e_i = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{ip})^T$. Então a matriz Θ é dada por $\Theta = [e_1 e_2 \dots e_p]$ e pelo teorema da decomposição espectral tem-se a seguinte igualdade válida:

$$\Sigma_{p \times p} = \sum_{i=1}^p \lambda_i e_i e_i^T = O \Theta O^T \quad (2)$$

Como $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_p$ formam uma base de R^p , o vetor a pode ser escrito como $\sum_{i=1}^p \alpha_i \Theta_i = \alpha^T O$ para algum $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p)^T$.

Sendo Θ ortogonal, $\alpha^T \alpha = 1$ e a variância de $a^T X$ é menor ou igual a λ_1 e tomando $a = O_1$, tem-se que $var(O_1 X) = O_1 \Sigma O_1 = \lambda_1$, e define-se a variável aleatória $U_1 = O_1^T X$ como o primeiro componente principal de X . Para a obtenção de outros componentes principais é feita uma restrição de não correlação do próximo componente U_i com os componentes anteriormente obtidos (U_1, \dots, U_{i-1}). Desta forma as componentes são definidas como vetores aleatórios $U = (U_1, \dots, U_p) = O^T X$, onde as colunas de O são os autovetores de Σ . É importante ressaltar que a matriz de covariância da nova matriz U é diagonal, onde os elementos são os autovalores λ_i .

Verifica-se, portanto, que as variáveis aleatórias que constituem o vetor U são descorrelacionadas entre si consolidando assim o método, que estabelece um novo sistema de coordenadas cujos eixos agora estarão na direção dos autovetores de Σ .

Dentre as principais aplicações do PCA, encontram-se a: compressão de informação (voz e imagem) e redução de dimensionalidade (seleção de atributos e modelos) [Mingoti 2005].

Na aplicação de redução de dimensionalidade, o PCA tem a propriedade de minimizar o erro quadrático médio entre os dados reconstruídos e os dados originais. Supõe-se, por exemplo, que se tem dados de entrada X de dimensionalidade m e dados de saída Y de dimensionalidade m_1 , em que $m_1 < m$.

5. Procedimentos da Pesquisa

5.1. Caracterização dos Dados Coletados

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi realizada uma análise do desempenho de 140 alunos dos cursos de Licenciatura Plena em Química e Matemática na modalidade semi-presencial em uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES). A coleta de dados ocorreu através das notas obtidas em 14 atividades virtuais realizadas pelos alunos (8 fóruns, 1 chat e 5 portfólios). Os 140 alunos estão dispostos em duas disciplinas, Física Introdutória I e Física Introdutória II, onde cada disciplina tem 70 alunos.

5.2. Conteúdos das Atividades Analisadas

Os conteúdos das atividades realizadas abordam assuntos referentes à Física Básica. As Tabelas 1 e 2 apresentam os conteúdos referentes as atividades de fórum em ambas as

disciplinas. Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os conteúdos referentes as atividades de portfólio, os quais tiveram como atividades do curso apenas listas de exercícios.

<i>Fórum</i>	<i>Conteúdo</i>
1	Grandezas Físicas
2	Movimentos
3	Movimentos
4	Leis de Newton
5	Movimento Circular Uniforme
6	Energia Mecânica
7	Ondas Mecânicas
8	Dilatação

Tabela 1. Conteúdos das atividades de Fórum de Física Introdutória I.

<i>Fórum</i>	<i>Conteúdo</i>
1	Eletrização por Contato
2	Quantização da Carga Elétrica
3	Interação entre Cargas
4	Movimento de Cargas em um Potencial Elétrico
5	Carga de um Capacitor
6	Energia no Capacitor
7	Corrente e Diferença de Potencial
8	Associação de Resistores

Tabela 2. Conteúdos das atividades de Fórum de Física Introdutória II.

<i>Portfólio</i>	<i>Conteúdo</i>
1	Lista de Exercícios - Grandezas Físicas
2	Lista de Exercícios - Movimentos
3	Lista de Exercícios - Movimentos
4	Lista de Exercícios - Leis de Newton
5	Lista de Exercícios - Movimento Circular Uniforme

Tabela 3. Conteúdos das atividades de Portfólio de Física Introdutória I.

<i>Portfólio</i>	<i>Conteúdo</i>
1	Lista de Exercícios - Carga Elétrica/Lei de Coulomb
2	Lista de Exercícios - Potencial Elétrico
3	Lista de Exercícios - Capacitores e Dielétricos
4	Lista de Exercícios - Corrente Elétrica
5	Lista de Exercícios - Campo Magnético

Tabela 4. Conteúdos das atividades de Portfólio de Física Introdutória II.

5.3. *Software Statistical Package for the Social Sciences*

O software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) é um sistema de análise estatística em um ambiente gráfico de manuseamento de dados, recomendado para a análise de fenômenos ou processos sociais, econômicos, psicológicos e educacionais [SPSS 2007].

Para este trabalho utilizaremos o pacote de análise fatorial do SPSS, que tenta identificar variáveis subjacentes, ou fatores, que explicam o padrão de correlações dentro de um conjunto de variáveis observadas. Análise fatorial é frequentemente utilizada em redução de dados para identificar um pequeno número de fatores que explicam a maior parte da variância que é observado em um número muito maior de variáveis [Lay 2007]. Como método de extração dos fatores, utilizaremos a análise de componentes principais [SPSS 2007].

6. Análise e Discussão dos Resultados

6.1. Validando a Aplicação do PCA

Para determinar se a aplicação da análise em componentes principais tem validade para as variáveis selecionadas, realizamos os testes de Kaiser-Meyer-Olkin e de esfericidade de Bartlett [SPSS 2007]. Esses testes verificam o grau de correlação entre os dados estudados [Pasquali 2005]. Se os dados estiverem muito correlacionados, então é interessante aplicar um método para descorrelacionar os dados como é o caso do PCA.

- Teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) - Indica a proporção da variância dos dados que pode ser considerada comum a todas as variáveis, ou seja, que pode ser atribuída a um fator comum, então: quanto mais próximo de 1 (unidade) melhor o resultado, ou seja, mais adequada é a amostra à aplicação da análise fatorial.
- Teste de esfericidade de Bartlett - Testa se a matriz de correlação é uma matriz identidade, o que indicaria que não há correlação entre os dados. Dessa forma, procura-se para um nível de significância assumido em 5% rejeitar a hipótese nula de matriz de correlação identidade.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.571
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square
	557,840
df	91
Sig.	.000

Figura 1. Teste KMO e Bartlett para Física Introdutória I.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.766
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square
	497,252
df	91
Sig.	.000

Figura 2. Teste KMO e Bartlett para Física Introdutória II.

Juntos, esses testes fornecem um padrão mínimo que deve ser passado antes que a análise de componentes principais seja realizada.

Os testes indicam a adequação dos dados para a realização da análise fatorial da Matriz de Correlação em ambas as disciplinas. Em todos os casos reportados nas Figuras 1 e 2, as amostras mostraram-se adequadas para a aplicação da análise fatorial, onde KMO > 0,5 e Bartlett com rejeição de hipótese nula [Moita-Neto 2009].

6.2. Selecionando as Componentes Principais

Para que possamos definir o número de componentes principais que serão utilizadas é necessário estabelecer o percentual da variância total explicada por cada componente associada ao seu respectivo autovalor (Tabelas 5 e 6).

Componentes	Autovalores Iniciais		
	Total	% Variância	% Acumulativa
1	3,572	25,511	25,511
2	2,522	18,014	43,525
3	1,676	11,975	55,500
4	1,338	9,557	65,057
5	1,002	7,158	72,216
6	0,820	5,860	78,076
7	0,708	5,054	83,130
8	0,657	4,695	87,826
9	0,565	4,036	91,862
10	0,436	3,112	94,974
11	0,338	2,411	97,385
12	0,237	1,695	99,080
13	0,120	0,860	99,940
14	0,008	0,060	100

Tabela 5. Variância Explicada dos dados de Física Introdutória I.

Componentes	Autovalores Iniciais		
	Total	% Variância	% Acumulativa
1	5,651	40,361	40,361
2	1,738	12,413	52,774
3	1,288	9,201	61,975
4	1,148	8,197	70,172
5	0,958	6,841	77,013
6	0,653	4,664	81,677
7	0,521	3,722	85,399
8	0,448	3,200	88,598
9	0,425	3,034	91,633
10	0,356	2,540	94,172
11	0,292	2,088	96,260
12	0,271	1,936	98,195
13	0,143	1,021	99,217
14	0,110	0,783	100

Tabela 6. Variância Explicada dos dados de Física Introdutória II.

No intuito de confirmar a fundamentação para a escolha das componentes que serão objetos de análise, aplicamos o Teste Scree sobre o qual obtemos as Figuras 3 e 4. Este gráfico ilustra como a variabilidade dos dados está distribuída entre os eixos de ordenação, permitindo identificar o número de eixos mais significativos [Moita-Neto 2009].

Conforme as Figuras 3 e 4, nota-se que a taxa de variação dos autovalores em relação ao número de componentes decresce abruptamente em um determinado ponto do gráfico. Na Figura 3 este decaimento ocorre até a componente cinco, no qual a partir desse ponto o gráfico fica praticamente na horizontal, ou seja, o acréscimo de componentes na análise representa um incremento relativamente pequeno em termos da representatividade dos autovalores, e na Figura 4 o decaimento abrupto ocorre até a componente quatro.

Pelo critério de Kaiser [Moita-Neto 2009], na nossa análise utilizaremos apenas as componentes principais com autovalores associados maiores do que um. Os dados iniciais demandam um total de 14 componentes principais, relativas a cada atividade do curso, com a aplicação do método PCA, podemos reduzir para 5 componentes para Física

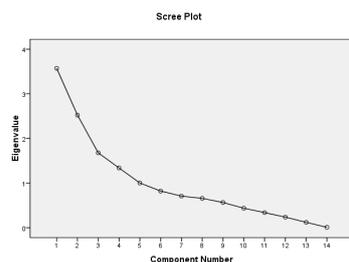


Figura 3. Gráfico Scree para os autovalores referentes a disciplina Física Introdutória I.

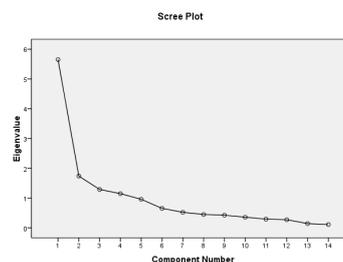


Figura 4. Gráfico Scree para os autovalores referentes a disciplina Física Introdutória II.

Introdutória I, as quais representam uma variância explicada de 72,216% dos dados originais e na disciplina Física Introdutória II reduzimos o número de componentes a 4, as quais representam 70,172% da variância explicada dos dados.

6.3. Análise da Matriz de Correlação

Para estabelecer as relações entres as variáveis avaliadas utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (ρ), o qual é caracterizado por [Dancey and Reidy 2006] pelos seguintes níveis de correlação:

- $\rho > 0.70$ - Forte correlação.
- $0.30 > \rho > 0.70$ - Correlação moderada.
- $0 > \rho > 0.30$ - Fraca correlação.

O coeficiente de correlação Pearson varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra [Dancey and Reidy 2006].

Nas subseções 6.3.1 e 6.3.2 serão apresentadas as matrizes de correlação obtidas através dos dados coletados. Para a análise foi utilizado os parâmetros do coeficiente de correlação de Pearson apontados anteriormente. Por questão de espaço as atividades tiveram seus nomes abreviados para F, referente aos Fóruns, e P, referente ao portfólio. Serão analisados apenas aqueles casos que tenham forte correlação.

6.3.1. Disciplina Física Introdutória I

A Tabela 7 representa a matriz de correlação entre os dados da disciplina Física Introdutória I, os quais se referem aos conteúdos ministrados na disciplina como foi mostrado anteriormente nas Tabelas 1 e 3.

Podemos destacar dentre os dados obtidos, o alto grau de correlação existente entre os fóruns 6 e 7, com um fator de carregamento de 0,758, e entre os fóruns 2 e 3, com um fator de carregamento de 0,990. Pelos graus de correlação obtidos, podemos inferir que quando as notas dos fóruns 2 e 6 aumentam, as notas dos fóruns 3 e 7 também aumentam, respectivamente [Figueiredo-Filho and Silva-Júnior 2009]. Realizando uma

Matriz de Correlação														
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	Chat	P1	P2	P3	P4	P5
F1	1	0,490	0,495	0,660	0,337	0,296	0,323	0,158	0,187	0,197	-0,025	0,080	0,213	-0,029
F2	0,490	1	0,990	0,367	0,149	0,154	0,213	0,436	0,211	-0,010	-0,064	0,034	0,001	-0,064
F3	0,495	0,990	1	0,371	0,150	0,183	0,232	0,399	0,212	-0,012	-0,061	0,033	-0,001	-0,075
F4	0,660	0,367	0,371	1	0,547	0,181	0,362	0,243	0,331	0,143	-0,016	0,082	0,189	-0,081
F5	0,337	0,149	0,150	0,547	1	0,286	0,360	0,036	0,133	-0,095	-0,124	0,039	0,162	-0,210
F6	0,296	0,154	0,183	0,181	0,286	1	0,758	0,197	-0,039	-0,166	0,016	-0,021	-0,033	-0,119
F7	0,323	0,213	0,232	0,362	0,360	0,758	1	0,114	0,119	-0,173	0,243	0,054	-0,031	0,073
F8	0,158	0,436	0,399	0,243	0,036	0,197	0,114	1	0,105	-0,104	-0,050	-0,149	-0,111	-0,186
Chat	0,187	0,211	0,212	0,331	0,133	-0,039	0,119	0,105	1	-0,158	0,145	0,225	0,259	0,393
P1	0,197	-0,010	-0,012	0,143	-0,095	-0,166	-0,173	-0,104	0,158	1	-0,391	0,346	0,158	0,235
P2	-0,025	-0,064	-0,061	-0,016	-0,124	0,016	0,243	-0,050	0,145	0,391	1	0,300	0,169	0,420
P3	0,080	0,034	0,033	0,082	0,039	-0,021	0,054	-0,149	0,225	0,346	0,300	1	0,271	0,410
P4	0,213	0,001	-0,001	0,189	0,162	-0,033	-0,031	-0,111	0,259	0,158	0,169	0,271	1	0,331
P5	-0,029	-0,064	-0,075	-0,081	-0,210	-0,119	0,073	-0,186	0,393	0,235	0,420	0,410	0,331	1

Tabela 7. Matriz de Correlação das atividades de Física Introdutória I.

análise sobre os conteúdos abordados nos fóruns podemos destacar uma relação significativa existente entre os conteúdos de ondas mecânicas e a energia mecânica, no qual são tratados nos fóruns 6 e 7, respectivamente. Os fóruns 2 e 3 tratam de um mesmo assunto, o que corrobora a intenção da análise, a qual atesta que existe essa relação entre as notas obtidas.

6.3.2. Disciplina Física Introdutória II

A Tabela 8 representa a matriz de correlação entre os dados da disciplina Física Introdutória II, os quais tem como conteúdos estudados, aqueles referentes as Tabelas 2 e 4.

Matriz de Correlação														
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	Chat	P1	P2	P3	P4	P5
F1	1	0,455	0,641	0,401	0,420	0,343	0,340	0,256	0,148	0,358	0,289	0,342	0,323	0,419
F2	0,455	1	0,554	0,320	0,423	0,135	0,188	0,270	0,035	0,133	0,455	0,288	0,177	0,371
F3	0,641	0,554	1	0,360	0,363	0,160	0,166	0,204	-0,024	0,381	0,390	0,259	0,223	0,369
F4	0,401	0,320	0,360	1	0,611	0,405	0,455	0,589	0,167	0,324	0,441	0,360	0,468	0,575
F5	0,420	0,453	0,363	0,611	1	0,253	0,327	0,611	0,182	0,316	0,687	0,504	0,458	0,501
F6	0,343	0,135	0,160	0,405	0,253	1	0,821	0,389	0,210	0,423	0,191	0,078	0,152	0,152
F7	0,340	0,188	0,166	0,455	0,327	0,821	1	0,577	0,131	0,486	0,341	0,200	0,314	0,205
F8	0,256	0,270	0,204	0,589	0,611	0,389	0,577	1	0,306	0,355	0,507	0,309	0,329	0,312
Chat	0,148	0,035	-0,024	0,167	0,182	0,210	0,131	0,306	1	0,051	-0,045	0,241	-0,035	0,112
P1	0,358	0,133	0,381	0,324	0,316	0,423	0,486	0,355	0,051	1	0,366	0,419	0,460	0,380
P2	0,289	0,455	0,390	0,441	0,687	0,191	0,341	0,507	-0,045	0,366	1	0,450	0,572	0,569
P3	0,342	0,288	0,259	0,360	0,504	0,078	0,200	0,309	0,241	0,419	0,450	1	0,454	0,501
P4	0,323	0,177	0,223	0,468	0,458	0,152	0,314	0,329	-0,035	0,460	0,572	0,454	1	0,544
P5	0,419	0,371	0,369	0,575	0,501	0,152	0,205	0,312	0,112	0,380	0,569	0,501	0,544	1

Tabela 8. Matriz de Correlação das atividades de Física Introdutória II.

Na matriz de correlação da disciplina de Física Introdutória II, podemos ressaltar a relação existente entre os fóruns 6 e 7 ($\rho = 0,821$), que tem como conteúdos chaves a Energia do Capacitor (fórum 6), e o conceito de Corrente Elétrica e Diferença de Potencial (fórum 7). A forte correlação existente indica um padrão de crescimento das notas das atividades de fóruns, ou seja, essas atividades tem correlação positiva. Esse padrão não é observável nas outras atividades, o que indica a falta de uma forte correlação entre as outras notas.

6.4. Análise do PCA

De acordo com o testes feitos anteriormente para a validação da aplicação do PCA na base de dados coletadas, as Tabelas 9 e 10 representam os fatores de cargas relacionados

a importância da atividade diante de todo o conjunto de dados, ou seja, podemos destacar o quanto significativa é a atividade em relação as outras [Moita-Neto 2009].

Componentes					
	1	2	3	4	5
F1	0,345	-0,024	0,096	-0,634	0,287
F2	0,935	0,080	-0,029	-0,076	0,042
F3	0,920	0,071	-0,005	-0,085	0,046
F4	0,211	0,093	-0,080	-0,763	0,132
F5	-0,161	0,051	0,228	-0,786	-0,171
F6	0,031	-0,142	0,859	-0,129	-0,072
F7	0,046	0,052	0,914	-0,137	-0,018
F8	0,662	-0,062	0,074	0,102	-0,126
Chat	0,232	0,783	-0,046	-0,073	-0,112
P1	-0,013	-0,118	-0,231	-0,152	0,905
P2	-0,058	0,150	0,351	0,293	0,636
P3	-0,069	0,371	0,053	-0,017	0,464
P4	-0,174	0,625	-0,114	-0,312	0,014
P5	-0,053	0,742	0,103	0,356	0,185

Tabela 9. Matriz de Componentes de Física Introdutória I.

Componentes				
	1	2	3	4
F1	0,646	-0,109	0,510	0,100
F2	0,552	-0,356	0,417	0,232
F3	0,578	-0,341	0,594	0,001
F4	0,756	0,090	-0,107	0,087
F5	0,786	-0,137	-0,189	0,196
F6	0,511	0,721	0,258	-0,115
F7	0,622	0,661	0,113	-0,203
F8	0,689	0,324	-0,222	0,206
Chat	0,209	0,326	-0,158	0,778
P1	0,621	0,179	0,028	-0,392
P2	0,745	-0,259	-0,213	-0,153
P3	0,617	-0,240	-0,304	0,133
P4	0,649	-0,175	-0,360	-0,374
P5	0,706	-0,316	-0,180	-0,021

Tabela 10. Matriz de Componentes de Física Introdutória II.

Analisando a Tabela 9, podemos observar que não há um padrão na localização dos maiores fatores de carga em relação as componentes obtidas, o que indica que nenhuma atividade se sobressai a outra, no que diz respeito ao seu nível de significância em relação as outras atividades. Ao contrário da Tabela 9, a Tabela 10 tem uma forma bem clara de localização dos maiores fatores de cargas em relação as componentes observadas, o que indica uma presença significativa das notas dos portfólios perante a base de dados. Os fóruns 2, 3 e 7 tem sua significância comprometida por ter fatores de carregamento na terceira componente da matriz, analogamente ao fator referente a atividade de chat, que está na componente menos significativa.

7. Considerações Finais

Este trabalho apresenta uma contribuição da aplicação de uma técnica da estatística multivariada, o método PCA, em dados educacionais relacionados ao processo de avaliação da aprendizagem.

Os resultados dos testes KMO e de esféricidade de Bartlett [SPSS 2007] apontam para a validação da aplicação da técnica na base de dados selecionada. A partir na análise da matriz de correlação podemos inferir sobre o quão correlacionável é uma atividade/conteúdo com outra.

A aplicação do PCA verificou a importância das atividades de portfólio na disciplina de Física Introdutória II, o que nos faz inferir sobre a necessidade de uma análise mais profunda de sua diferença em relação ao curso de Física Introdutória I.

O intuito da aplicação da ferramenta proposta neste artigo é subsidiar o professor responsável pela elaboração de cursos online, tendo em vista que esse tipo de análise trás um *feedback* estatístico que está implícito no conjunto de dados.

Observamos que a da não-trivialidade da análise dos dados não deve servir de desmotivação, tendo em vista que existe um relacionamento entre a matemática aplicada e as relações psicológicas humanas [Kroonenberg 2008]. Como trabalhos futuros, sugere-se uma abrangente análise da matriz de correlação e a aplicação de outras técnicas de análise de dados que trabalham com dimensões de ordem superior a dois [Kroonenberg 2008].

Referências

- Almeida, A. and Pimentel, E. P. (2010). Mineração de dados no ensino a distância para fins de avaliação do uso das ferramentas de aprendizagem do ambiente tidia-ae. In *Anais do III WAValia*.
- Andriola, W. B. (2002). *Detección del funcionamiento diferencial del item en tests de rendimiento. Aportaciones teóricas y metodológicas*. PhD thesis, Universidad Complutense de Madrid.
- Baker, R., Isotani, S., and de Carvalho, A. (2011). Mineração de dados educacionais: Oportunidades para o brasil. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 19.
- Bassani, P. S. (2006). *Mapemamento das interações em ambiente virtual de aprendizagem: uma possibilidade para avaliação em educação a distância. Tese (Doutorado)*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PPGIE, Porto Alegre.
- Bassani, P. S. and Behar, P. A. (2009). *Modelos Pedagógicos em Educação a Distância. Avaliação da Aprendizagem em Ambientais Virtuais*. Artmed.
- Dancey, C. and Reidy, J. (2006). *Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows*.
- David, P. B., Pequeno, M. C., da Silva, A., Souza, C. F., Júnior, G. S. V., de Castro Filho, J. A., Ventura, P. P. B., and Maia, S. (2007). Avaliação da aprendizagem em educação a distância numa perspectiva sócio-interacionista. *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.
- Figueiredo-Filho, D. B. and Silva-Júnior, J. A. (2009). Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de pearson. *Revista Política Hoje*, 18.
- Kroonenberg, P. M. (2008). *Applied Multiway Data Analysis*. Wiley.
- Lay, D. C. (2007). *Álgebra Linear e Suas Aplicações*.
- Mingoti, S. A. (2005). *Analises de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada*.
- Moita-Neto, J. M. (2009). *Estatística Multivariada na Pesquisa*, volume 5. Sapiência (FAPEPI).
- Pasquali, L. (2005). *Análise Fatorial para pesquisadores*.
- Sales, G. L., Barroso, G. C., and Soares, J. M. (2008). O indicador de aprendizagem learning vectors como instrumento automatizado de avaliação para suporte a aprendizagem em ead. *Anais do XXVIII Congresso da SBC*.
- Santos, M. H. and Coutinho, M. (2000). Política comparada: estado das artes e perspectivas no brasil. *BIB*, 54:3– 146.
- Soares, G. (2005). O calcanhar metodológico da ciência política no brasil. *Psicologia*, 48:27–52.
- SPSS (2007). *SPSS Statistics Base 17.0 User?s Guide*. Inc SPSS.
- Vasconcelos, F. H. L. (2008). Avaliação sócio-interacionista aplicada ao contexto da ead em cursos de graduação semi-presenciais mediado por um ambiente virtual de aprendizagem. *Anais do XXVIII Congresso da SBC*.

ANEXO A – Notas técnicas de cálculos - INEP

A.1 Nota técnica de cálculo do (ENEM)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA
DIRETORIA DE AVALIAÇÃO DA EDUCAÇÃO BÁSICA – DAEB

NOTA TÉCNICA

Assunto: Procedimento de cálculo das notas do Enem.

O Exame Nacional do Ensino Médio (Enem) é uma avaliação cujos resultados podem ser utilizados para: (1) compor a avaliação de medição da qualidade do Ensino Médio no país; (2) a implementação de políticas públicas; (3) a criação de referência nacional para o aperfeiçoamento dos currículos do Ensino Médio e (4) o desenvolvimento de estudos e indicadores sobre a educação brasileira. Neste exame, busca-se aferir as competências e habilidades desenvolvidas pelas estudantes ao fim da escolaridade básica. Esta aferição é realizada por meio de uma redação e de provas objetivas que avaliam quatro áreas do conhecimento: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias, Ciências Humanas e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Matemática e suas Tecnologias. Neste documento, pretende-se explicar como é o procedimento de cálculo das notas dos participantes do Enem.

A correção das notas de redação

Em 2011, o Inep publicou em seu site o documento intitulado “A Redação do Enem”. O referido documento objetiva esclarecer aos participantes do Enem o que é avaliado durante a correção das redações, como são atribuídas as pontuações e como é o procedimento de correção.

O que é avaliado durante a correção da redação tem como base a matriz de referência do exame que foi instituída em 2009 e também foi publicada no edital de 2011. As matrizes desenvolvidas pelo Inep são estruturadas a partir de competências e habilidades que se espera que os participantes do exame tenham desenvolvido ao longo de sua formação. No caso da redação, cinco competências são avaliadas:

- I- Demonstrar domínio da norma padrão da língua escrita.
- II- Compreender a proposta de redação e aplicar conceitos das várias áreas de conhecimento para desenvolver o tema, dentro dos limites estruturais do texto dissertativo-argumentativo.

III- Selecionar, relacionar, organizar e interpretar informações, fatos, opiniões e argumentos em defesa de um ponto de vista.

IV- Demonstrar conhecimento dos mecanismos linguísticos necessários para a construção da argumentação.

V- Elaborar proposta de solução para o problema abordado, respeitando os valores humanos e considerando a diversidade sociocultural.

A avaliação da redação é realizada de forma holística, por dois corretores independentes, tendo como base essas cinco competências. Para cada competência, o corretor precisa atribuir uma pontuação que varia de 0 a 1000. Depois, somam-se as notas atribuídas nas cinco competências e divide-se por cinco, obtendo-se a média. O resultado é a nota do primeiro corretor. O mesmo procedimento é realizado para obter a nota do segundo corretor. A nota final é a média aritmética das duas notas obtidas. No caso de discrepância igual ou maior a 300 pontos entre as notas atribuídas pelos dois corretores, haverá outra correção por um professor supervisor. Essa terceira nota é a que prevalecerá. A terceira correção configura-se como um recurso de ofício.

No documento mencionado, são descritos os níveis esperados em cada competência e a respectiva nota atribuída. Para uma melhor compreensão do processo de correção, recomenda-se a leitura do material.

A correção das provas objetivas

Para cada participante do Enem são calculadas quatro proficiências. Cada uma delas baseada nas respostas dadas aos 45 itens de cada prova. O procedimento de correção das provas objetivas inicia-se com a leitura dos cartões-resposta para a produção de uma base de dados. Vários procedimentos de controle são realizados pelo consórcio contratado com vistas a garantir que a leitura dos cartões seja fidedigna. Após estes procedimentos, a base de dados é consolidada e encaminhada para a equipe de análise de dados.

Na primeira etapa da análise é realizada uma avaliação do comportamento de todos os itens da prova, os parâmetros já conhecidos dos itens são reavaliados e são estimados os parâmetros daqueles itens que ainda não tinham parâmetros conhecidos. Apenas depois da consolidação destes parâmetros é que se inicia a fase de estimação das proficiências dos participantes.

Os procedimentos de análise dos itens e de cálculo das proficiências no Enem têm como base a Teoria de Resposta ao Item (TRI). Os conceitos básicos da teoria psicométrica baseada no item tiveram início com o trabalho de Lawley (1943) e foram posteriormente complementados com os trabalhos desenvolvidos por Lord (1952). Todavia, o crescimento do uso da teoria somente veio a ocorrer nas décadas de 70 e 80 com o desenvolvimento de *softwares* que permitiram a implementação dos modelos matemáticos relacionados à TRI. Na década de 90, houve uma expansão no uso da TRI em testes de avaliação educacional e, atualmente, a maioria dos programas de avaliação em larga escala no mundo tem como base esta teoria (Yen & Fitzpatrick, 2006).

A TRI não é uma teoria que busca substituir a Teoria Clássica dos Testes (TCT). Pelo contrário, é importante que se busque utilizar os avanços oferecidos em cada uma delas. A TRI é considerada a forma mais avançada de se mensurar um traço-latente (no caso, conhecimento). No Enem, o cálculo da proficiência a partir do uso da TRI permite acrescentar outros aspectos além do quantitativo de acertos, tais como os parâmetros dos itens e o padrão de resposta do participante. Assim, duas pessoas com a mesma quantidade de acertos na prova são avaliadas de forma distintas a depender de quais itens estão certos e errados e podem, assim, ter habilidades diferentes.

No Enem, foi estabelecida uma escala em 2009 para possibilitar o acompanhamento e comparação do desempenho dos participantes ao longo dos anos. Da mesma forma que se convencionou a escala “metro” para mensuração do comprimento, estabeleceu-se para esta comparação, a escala “Enem”. Nessa escala, foram considerados os concluintes regulares de 2009 como grupo de referência, definindo-se a média desse grupo como 500 e seu desvio-padrão 100.

Por exigir um domínio de matemática e estatística avançado, não é simples explicar como são realizados os cálculos dos parâmetros e das proficiências. Todavia, para aqueles que querem se aprofundar no assunto, há uma vasta literatura da área: Andrade, Tavares e Valle (2000); Baker e Kim (2004); Hambleton, Swaminathan e Rogers (1991); Klein (2003) e Pasquali (1997).

A TRI modela a probabilidade de um indivíduo responder corretamente a um item como função dos parâmetros do item e da proficiência (habilidade) do respondente. Essa relação é expressa por meio de uma função monotônica crescente que indica que quanto maior a proficiência do avaliado, maior será a sua probabilidade de acertar o item (ver, por exemplo, Andrade & cols, 2000; Baker & Kim, 2004; Hambleton & cols, 1991; Klein, 2003; Pasquali, 1997). **Estão erradas as explicações que tratam os parâmetros dos itens como pesos** e supõem que a divulgação dos “pesos” possibilitaria a reprodução dos cálculos a partir apenas de ponderações.

No Enem, a função monotônica é uma função logística de 3 parâmetros desenvolvida por Birbaum (1968). De acordo com esse modelo, três características do item são consideradas para cálculo da proficiência do aluno: poder de discriminação (parâmetro a), dificuldade (parâmetro b) e a probabilidade de acerto ao acaso (parâmetro c). Assim, **a estimação da proficiência está relacionada ao número de acertos, aos parâmetros dos itens e ao padrão de respostas**. Apesar de não ser simples e exigir estimativas dos parâmetros realizada por métodos estatísticos avançados, o cálculo da proficiência é **objetivo**, e participantes com exatamente o mesmo padrão de respostas apresentam exatamente as mesmas proficiências. O método utilizado para os cálculos das proficiências é denominado *Expected a Posteriori* (EAP).

Buscaremos esclarecer as três principais confusões relacionadas à interpretação dos resultados obtidos pela TRI e dos obtidos pela Teoria Clássica cuja nota está relacionada apenas ao percentual de acertos:

- **Mínimo e Máximo:** as proficiências na TRI são estimadas em uma escala métrica que não possui mínimo e máximo pré-estabelecidos. Esses valores variam de acordo com as características dos itens que compõem a prova de cada edição do Exame. Dessa forma, ao acertar todos os itens da prova não significa ter uma proficiência igual a 1000, como é comum imaginar. Para ilustrar este conceito,

suponha que um teste de resistência com várias etapas seja elaborado para um grupo de pessoas e que a etapa mais fácil seja uma corrida de 100 metros e a mais difícil uma corrida de dois quilômetros. A avaliação para uma pessoa que não conseguiu cumprir com a tarefa mais fácil é de que ela não é capaz de correr 100 metros, mas não é possível inferir que ela seja incapaz de correr (nota zero), pois no teste não havia etapas que avaliassem se ela era capaz de correr menos de 100 metros. Da mesma forma, a única afirmação que se pode fazer a respeito de uma pessoa que conseguiu cumprir todas as etapas é que ela é capaz de correr dois quilômetros. No entanto, se existisse nesta mesma avaliação uma corrida de três quilômetros, esta mesma pessoa que correu os dois quilômetros poderia correr ou não, os três quilômetros. Percebe-se, portanto, que a avaliação sofre influência das etapas programadas para o teste. O mesmo ocorre com a avaliação do conhecimento, por isso os valores de mínimo e máximo são diferentes a cada avaliação. Os valores de mínimo e máximo representam o mínimo e o máximo que o teste pode avaliar. Assim, uma pessoa que erra todas as questões recebe o valor mínimo do teste, e não uma nota zero, pois não se pode afirmar, a partir do teste, que ela possui zero conhecimento.

- **Comparação do número de acertos com a proficiência.** Há uma correspondência entre o número de acertos e a proficiência, mas a proficiência não é o percentual de itens acertados. Outros fatores são considerados nas análises, tais como os parâmetros dos itens acertados e o padrão de resposta. Inclusive, de acordo com a teoria, pessoas com o mesmo percentual de acertos podem obter proficiências diferentes, a depender do padrão de resposta. Voltando à ilustração do teste de resistência anterior, não é coerente uma pessoa que consegue correr 600 metros não concluir uma tarefa de 300 metros; por isso, a performance avaliada será distinta a depender das tarefas concluídas.
- **Comparação das proficiências obtidas em cada escala de proficiência.** A partir das explicações anteriores é fácil compreender porque cada área do conhecimento possui uma escala própria e não é possível comparar as proficiências entre as escalas. Também não é correto inferir que mais acertos em uma área do conhecimento significam ter uma proficiência mais alta nesta área. Comparar as proficiências obtidas em escalas distintas não é correto, pois seria equivalente a dizer que uma pessoa que consegue correr 100 metros é igual a uma pessoa que consegue nadar 100 metros.

Considerando que o cálculo das proficiências de acordo com a TRI exige um conhecimento avançado de estatística e a utilização de *software* próprio, o Inep, com o objetivo de ter a máxima confiança nos resultados, exige que os cálculos sejam realizados de forma independente por três grupos distintos (especialistas do Cespe/UnB, especialistas da Cesgranrio e os especialistas do Inep). Este procedimento de tripla conferência garante a qualidade dos resultados do Enem. Todos os profissionais com larga experiência na área e com formação em estatística, matemática ou psicometria. Somente com 100% de concordância entre os resultados obtidos pelos três grupos para cada participante é que o resultado é divulgado.

Este documento teve o objetivo de explicitar que a TRI tem bases científicas e que ela garante uma avaliação do conhecimento do participante de forma mais justa do que a Teoria Clássica. Não é simples explicitar os detalhes dos cálculos devido à exigência de conhecimento mais avançado em matemática e estatística. Todavia, o Inep tem adotado mecanismos para garantir um alto grau de confiabilidade nos resultados divulgados.

Brasília, dezembro de 2011.

Camila Akemi Karino
Coordenadora-geral de Instrumentos e Medidas - Inep

Maria Tereza Serrano Barbosa
Diretora de Avaliação da Educação Básica - Inep

REFERÊNCIAS

- Andrade, D. F. de, Tavares, H. R. & Valle, R. da C. (2000). *Teoria de resposta ao item: conceitos e aplicações*. São Paulo: ABE – Associação Brasileira de Estatística.
- Baker, F. B. & Kim, S. (2004). *Item response theory: parameter estimation techniques*. Nova York: Marcel Dekker.
- Birbaum, A. (1968). *Some latent trait models and their models ant their use in inferring an examinee's ability*. In F. M. Lord and M.R. Novick (Eds.), *Statistical theories of mental test scores* (pp 397-479). Reading, MA: Addison-Wesley
- Hambleton, R. K., Swaminathan, H. & Rogers, H. J. (1991). *Fundamentals of item response theory*. California: Sage Publications.
- Klein, R. (2003). *Utilização da Teoria de Resposta ao Item no Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica (SAEB). Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação, Rio de Janeiro, v.11, n.40, p. 283-296.*
- Lawley, D. N. (1943). On problems connected with item selection and test construction. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 61A, 273-287.*
- Lord, F. M. (1952). A theory of test scores. *Psychometric Monograph, No. 7.*
- Pasquali, L. (1997). *Psicometria: teoria e aplicações*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Yen, W. M. & Fitzpatrick, A. R. (2006). Item Response Theory. In R. L. Brennan, *Educational Measurement* (111-153). American Council on Education/Oryx Press Series on Higher Education.

A.2 Nota técnica de cálculo do Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE 2013)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA
DIRETORIA DE AVALIAÇÃO DA EDUCAÇÃO SUPERIOR

NOTA TÉCNICA nº 71
Cálculo do Conceito Enade referente a 2013

Brasília/DF
20 de outubro de 2014

República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - Inep

Diretoria de Avaliação da Educação Superior

Claudia Maffini Griboski

Coordenação Geral de Controle de Qualidade da Educação Superior

Stela Maria Meneghel

Equipe Técnica:

Gleidilson Costa Alves

Janaina Ferreira Ma

José Bonifácio de Araújo Júnior

Marcelo Pardellas Cazzola

Renato Augusto dos Santos

1. Cálculo do Conceito Enade de 2013

O Conceito Enade é calculado para cada unidade de observação, constituída pelo conjunto de cursos que compõe uma área de avaliação específica do Enade (abrangência/enquadramento¹), de uma mesma Instituição de Educação Superior (IES) em um determinado município².

A partir de 2008, o Conceito Enade passou a considerar em seu cálculo apenas o desempenho dos alunos concluintes. Assim sendo, todos os cálculos descritos a seguir consideram apenas os referidos estudantes, inscritos na condição de regular, que compareceram ao exame, ou seja, os estudantes concluintes participantes do Enade em 2013.

O passo inicial para o cálculo do Conceito Enade de uma unidade de observação é a obtenção do desempenho médio³ de seus concluintes na Formação Geral (FG) e no Componente Específico (CE). Para o cálculo do desempenho médio da unidade de observação j , na Formação Geral, utiliza-se a equação seguinte.

$$FG_{k_j} = \frac{\sum_{i=1}^N FG_{kji}}{N} \quad (1)$$

Onde:

FG_{k_j} é a nota bruta em Formação Geral da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ;

FG_{kji} é a nota bruta em Formação Geral do i -ésimo concluinte da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ; e

N é o número de concluintes participantes da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k .

¹ As áreas de enquadramento referentes ao Enade de 2013 estão listadas no Apêndice deste Documento.

² Para a modalidade à distância (EAD), considera-se o município de funcionamento da sede do curso.

³ Os valores dos desempenhos médios de FG e CE das unidades com menos de 2 (dois) concluintes participantes são substituídos por "missing" (vazio).

Para o cálculo do desempenho médio da unidade de observação j , no Componente Específico, utiliza-se a seguinte equação.

$$CE_{k_j} = \frac{\sum_{i=1}^N CE_{kji}}{N} \quad (2)$$

Onde:

CE_{k_j} é a nota bruta em Componente Específico da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ;

CE_{kji} é a nota bruta em CE do i -ésimo concluinte da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ; e

N é o número de concluintes participantes da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k .

O segundo passo é a obtenção da média nacional⁴ da área de avaliação k em FG e CE. Para o cálculo da média nacional da área de avaliação k na Formação Geral utiliza-se a equação subsequente.

$$\overline{FG}_k = \frac{\sum_{j=1}^T FG_{kj}}{T} \quad (3)$$

Onde:

\overline{FG}_k é a média em FG da área de avaliação k ;

FG_{kj} é a nota bruta em FG da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ; e

T é o número de unidades de observação da área de avaliação k .

⁴ As unidades de observação com desempenho médio igual a zero não são consideradas no cálculo das médias e desvios-padrão nacionais da área de avaliação.

Para o cálculo da média nacional da área de avaliação k no Componente Específico utiliza-se a seguinte equação.

$$\overline{CE}_k = \frac{\sum_{j=1}^T CE_{kj}}{T} \quad (4)$$

Onde:

\overline{CE}_k é a média em CE da área de avaliação k ;

CE_{kj} é a nota bruta em CE da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ; e

T é o número de unidades de observação da área de avaliação k .

Em seguida, calcula-se o desvio-padrão nacional de cada área de avaliação k em FG e CE. Para o cálculo do desvio-padrão nacional da área de avaliação k na Formação Geral utiliza-se equação subsequente.

$$S_{FGk} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^T (FG_{kj} - \overline{FG}_k)^2}{T-1}} \quad (5)$$

Onde:

S_{FGk} é o desvio-padrão em FG da área de avaliação k ;

FG_{kj} é a nota bruta em FG da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ;

\overline{FG}_k é a média de FG da área de avaliação k ; e

T é o número de unidades de observação da área de avaliação k .

Para o cálculo do desvio-padrão nacional da área de avaliação k no Componente Específico utiliza-se a equação seguinte.

$$S_{CEk} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^T (CE_{kj} - \overline{CE}_k)^2}{T-1}} \quad (6)$$

Onde:

S_{CEk} é o desvio-Padrão em CE da área de avaliação k ;

CE_{kj} é a nota bruta em CE da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ;

\overline{CE}_k é a média em CE da área de avaliação k ; e

T é o número de unidades de observação da área de avaliação k .

O próximo passo consiste em se calcular os afastamentos padronizados em FG e CE de cada unidade de observação j . Para o cálculo do afastamento padronizado na Formação Geral utiliza-se a equação subsequente.

$$Z_{FGj} = \frac{FG_{kj} - \overline{FG}_k}{S_{FGk}} \quad (7)$$

Onde:

Z_{FGj} é o afastamento padronizado em FG da unidade de observação j ;

FG_{kj} é a nota bruta em FG da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ;

\overline{FG}_k é a média em FG da área de avaliação k ; e

S_{FGk} é o desvio-padrão em FG da área de avaliação k .

Para o cálculo do afastamento padronizado no Componente Específico utiliza-se a seguinte equação.

$$Z_{CEj} = \frac{CE_{kj} - \overline{CE}_k}{S_{CEk}} \quad (8)$$

Onde:

Z_{CEj} é o afastamento padronizado em CE da unidade de observação j ;

CE_{kj} é a nota bruta em CE da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ;

\overline{CE}_k é a média em CE da área de avaliação k ; e

S_{CEk} é o desvio-padrão em CE da área de avaliação k .

Para que todas as unidades de observação tenham suas notas de FG e CE numa escala de 0 a 5, efetua-se a interpolação linear⁵, obtendo-se, assim, respectivamente, as Notas Padronizadas de FG e CE de cada unidade j . No que se refere à Formação Geral, utiliza-se a seguinte equação.

$$NP_{FGj} = 5 \cdot \left(\frac{Z_{FGj} - Z_{FGk} \text{ min}}{Z_{FGk} \text{ max} - Z_{FGk} \text{ min}} \right) \quad (9)$$

Onde:

NP_{FGj} é a nota padronizada em FG da unidade de observação j ;

Z_{FGj} é o afastamento padronizado em FG da unidade de observação j ;

$Z_{FGk} \text{ min}$ é o afastamento padronizado mínimo em FG da área de avaliação k ; e

$Z_{FGk} \text{ max}$ é o afastamento padronizado máximo em FG da área de avaliação k .

⁵ As unidades com afastamento padronizado menor que -3,0 e maior que +3,0 recebem nota padronizada igual a 0 (zero) e 5 (cinco), respectivamente, e não são utilizadas como mínimo ou máximo na fórmula, pelo fato de terem valores discrepantes (outliers) dos demais.

Para a obtenção da nota padronizada da unidade de observação j referente ao Componente Específico utiliza-se a equação subsequente.

$$NP_{CEj} = 5 \cdot \left(\frac{Z_{CEj} - Z_{CEk}^{\min}}{Z_{CEk}^{\max} - Z_{CEk}^{\min}} \right) \quad (10)$$

Onde:

NP_{CEj} é a nota padronizada em CE da unidade de observação j ;

Z_{CEj} é o afastamento padronizado em CE da unidade de observação j ;

Z_{CEk}^{\min} é o afastamento padronizado mínimo em CE da área de avaliação k ; e

Z_{CEk}^{\max} é o afastamento padronizado máximo em CE da área de avaliação k .

Por fim, a *Nota dos Concluintes no Enade* da unidade de observação j (NC_j) é a média ponderada das notas padronizadas da respectiva unidade de observação em FG e CE, sendo 25% o peso da Formação Geral e 75% o peso do Componente Específico da nota final, como mostra a equação 11.

$$NC_j = 0,25 \cdot NP_{FGj} + 0,75 \cdot NP_{CEj} \quad (11)$$

Onde:

NC_j é a nota dos concluintes no Enade da unidade de observação j ;

NP_{FGj} é a nota padronizada em FG da unidade de observação j ; e

NP_{CEj} é a nota padronizada em CE da unidade de observação j .

O Conceito Enade é uma variável discreta que assume valores de 1 a 5, resultante da conversão da realizada conforme definido na Tabela 1.

TABELA 1 – Parâmetros de conversão do NC_j em Conceito Enade

Conceito Enada (Faixa)	NC_j (Valor Contínuo)
1	$0 \leq NC_j < 0,945$
2	$0,945 \leq NC_j < 1,945$
3	$1,945 \leq NC_j < 2,945$
4	$2,945 \leq NC_j < 3,945$
5	$3,945 \leq NC_j \leq 5$

Fonte: Inep/Daes

As unidades de observação com menos de 2 (dois) concluintes participantes no Exame não obtêm o Conceito Enade, ficando “Sem Conceito (SC)”. Isso ocorre para preservar a identidade do estudante, de acordo com o exposto no § 9º do artigo 5º da Lei nº 10.861, de 14 de abril de 2004⁶.

⁶ O texto oficial está assim enunciado: “Na divulgação dos resultados da avaliação é vedada a identificação nominal do resultado individual obtido pelo aluno examinado, que será a ele exclusivamente fornecido em documento específico, emitido pelo INEP”.

Apêndice I – Áreas avaliadas pelo Enade em 2013

CÓDIGO	ÁREA DE ENQUADRAMENTO
5	MEDICINA VETERINÁRIA
6	ODONTOLOGIA
12	MEDICINA
17	AGRONOMIA
19	FARMÁCIA
23	ENFERMAGEM
27	FONOAUDIOLOGIA
28	NUTRIÇÃO
36	FISIOTERAPIA
38	SERVIÇO SOCIAL
51	ZOOTECNIA
55	BIOMEDICINA
69	TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA
90	TECNOLOGIA EM AGRONEGÓCIOS
91	TECNOLOGIA EM GESTÃO HOSPITALAR
92	TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL
3501	EDUCAÇÃO FÍSICA (BACHARELADO)

A.3 Nota técnica de cálculo do Conceito Preliminar de Curso (CPC 2013)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA
DIRETORIA DE AVALIAÇÃO DA EDUCAÇÃO SUPERIOR

NOTA TÉCNICA nº 72
Cálculo do Conceito Preliminar de Curso referente a 2013

Brasília/DF
20 de outubro de 2014

República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - Inep

Diretoria de Avaliação da Educação Superior

Claudia Maffini Griboski

Coordenação Geral de Controle de Qualidade da Educação Superior

Stela Maria Meneghel

Equipe Técnica:

Gleidilson Costa Alves

Janaina Ferreira Ma

José Bonifácio de Araújo Júnior

Marcelo Pardellas Cazzola

Renato Augusto dos Santos

1. Introdução

O Conceito Preliminar de Curso (CPC), elaborado com o objetivo de combinar diferentes medidas de qualidade de cursos de graduação e algumas variáveis de insumo em uma única medida, é constituído de oito componentes, agrupados em três dimensões que se destinam a avaliar a qualidade dos cursos de graduação: (a) desempenho dos estudantes, (b) corpo docente e (c) condições oferecidas para o desenvolvimento do processo formativo.

O CPC é calculado para cada Unidade de Observação, constituída pelo conjunto de cursos que compõe uma área de avaliação específica do Enade (abrangência/enquadramento¹), de uma Instituição de Educação Superior, em um determinado município².

O cálculo do CPC em 2013 foi realizado para cursos avaliados no referido ano, enquadrados pelas Instituições de Educação Superior (IES) em um das áreas elencadas no artigo 1º da Portaria Normativa do MEC nº 8, de 14 de março de 2014, de acordo com a metodologia explicitada nesta Nota Técnica.

2. Padronização

Todas as medidas originais, referentes aos componentes do CPC, são padronizadas para assumirem valores de 0 (zero) a 5 (cinco), na forma de variáveis contínuas. Esse processo de padronização passa por duas etapas: (a) calcular o afastamento padronizado de cada unidade de observação, fazendo-se uso das médias e dos desvios-padrões calculados por área de avaliação, como mostram as equações 1, 2 e 3; e (b) transformar os afastamentos padronizados em notas padronizadas que também podem variar de 0 (zero) a 5 (cinco), como especifica a equação 4.

Para o cálculo das médias, utilizou-se a seguinte equação:

$$\bar{X}_k = \frac{\sum_{j=1}^T X_{k_j}}{T} \quad (1)$$

¹ As áreas de enquadramento referentes ao Enade de 2013 estão listadas no Apêndice deste Documento.

² Para a modalidade à distância (EAD), considera-se o município de funcionamento da sede do curso.

Onde:

\bar{X}_k é a média do componente “X” da área de avaliação k ;

X_{k_j} é a nota bruta do componente “X” da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ; e

T é o número de unidades da área k .

Para o cálculo dos desvios-padrões, adotou-se:

$$S_{X_k} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^T (X_{k_j} - \bar{X}_k)^2}{T - 1}} \quad (2)$$

Onde:

S_{X_k} é o desvio-padrão do componente “X” da área k ;

X_{k_j} é a nota bruta do componente “X” da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ;

\bar{X}_k é a média do componente “X” da área de avaliação k ; e

T é o número de unidades de observação da área de avaliação k .

Para o cálculo dos afastamentos padronizado, fez-se uso da seguinte equação:

$$Z_{X_j} = \frac{X_{k_j} - \bar{X}_k}{S_{X_k}} \quad (3)$$

Onde:

Z_{X_j} é o afastamento padronizado do componente “X” da unidade de observação j ;

X_{k_j} é o nota bruta do componente “X” da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ;

\bar{X}_k é a média do componente “X” da área de avaliação k ; e

S_{X_k} é o desvio-padrão do componente “X” da área de avaliação k .

Em seguida, aplica-se a interpolação linear, expressa na equação 4, para transformar os valores dos afastamentos padronizados de cada componente do CPC para a escala de 0 (zero) a 5 (cinco)³.

$$NP_{X_j} = 5 \cdot \left(\frac{Z_{X_j} - Z_{X_k \text{ min}}}{Z_{X_k \text{ max}} - Z_{X_k \text{ min}}} \right) \quad (4)$$

Onde:

NP_{X_j} é a nota padronizada do componente “X” da unidade de observação j ;

Z_{X_j} é o afastamento padronizado do componente “X” da unidade de observação j ;

$Z_{X_k \text{ min}}$ é o afastamento padronizado mínimo do componente “X” da área de avaliação k ; e

$Z_{X_k \text{ max}}$ é o afastamento padronizado máximo do componente “X” da área de avaliação k .

3. Componentes do Conceito Preliminar de Curso

A composição e o cálculo do CPC abarcam 8 (oito) componentes, agrupados nessas três dimensões de avaliação da qualidade dos cursos de graduação:

a) *Desempenho dos Estudantes*: mensurado a partir das notas dos estudantes concluintes no Enade e dos valores do Indicador da Diferença entre os Desempenhos Esperado e Observado (IDD);

³ As unidades com afastamento padronizado menor que -3,0 e maior que +3,0 recebem nota padronizada igual a 0 (zero) e 5(cinco), respectivamente, e não são utilizadas como mínimo ou máximo no cálculo do CPC, por serem considerados discrepantes (*outliers*).

b) *Corpo Docente*: analisado com base em informações obtidas a partir do Censo da Educação Superior sobre a titulação e o regime de trabalho dos docentes vinculados aos cursos avaliados; e

c) *Percepção Discente sobre as Condições do Processo Formativo*: verificada com o levantamento de informações relativas à organização didático-pedagógica, à infraestrutura e instalações físicas e às oportunidades de ampliação de formação acadêmica e profissional, a partir das respostas obtidas com a aplicação do Questionário do Estudante do Enade.

3.1. Desempenho dos Estudantes

A dimensão *Desempenho dos Estudantes* é constituída pelos componentes: Nota dos Concluintes no Enade (NC_j) e Nota do Indicador de Diferença entre os Desempenhos Observado e Esperado ($NIDD_j$). Esses são obtidos, cada qual, segundo metodologia própria, conforme indicado nos subtópicos seguintes.

3.1.1. Nota dos Concluintes no Enade (NC_j)

A Nota dos Concluintes no Enade de cada unidade de observação j referente a 2013 é resultante da transposição da *Nota Enade* de 2013 da unidade de observação correspondente, sendo esse insumo calculado conforme descrito na Nota Técnica do Inep nº 71, de 15 de outubro de 2014. Destaca-se que a *Nota Enade* já havia sido padronizada e transformado para a escala de 0 (zero) a 5 (cinco), portanto não se fez necessário aplicar o procedimento descrito no item “2” desta Nota Técnica para a obtenção do componente NC_j .

3.1.2. Nota do Indicador de Diferença entre os Desempenhos Observado e Esperado ($NIDD_j$)

Um dos aspectos importantes na avaliação da qualidade de um curso de graduação está na mensuração de sua efetiva contribuição para o desenvolvimento de competências, habilidades e conhecimento dos estudantes, o que tem sido chamado de *valor agregado* pelo curso.

Tendo-se em vista que os desempenhos dos estudantes concluintes no Enade não podem ser explicados exclusivamente pela qualidade das condições de oferta

dos processos formativos, torna-se importante destacar outro importante fator interveniente: o perfil dos estudantes concluintes ao ingressarem na educação superior.

Nessa direção, o Indicador de Diferença entre os Desempenhos Observado e Esperado teria por finalidade destacar, do desempenho médio dos estudantes concluintes, aquilo que diz respeito especificamente ao valor agregado pelo curso ao desenvolvimento desses estudantes, tomando como base de comparação seus desempenhos como concluintes no Enade e suas características de desenvolvimento antes de ingressarem na educação superior.

Conceitualmente, por hipótese, os fatores que determinam o desempenho dos concluintes de cursos de graduação, congregados em uma unidade de observação, podem ser separados em três aspectos:

- a) características de desenvolvimento do estudante concluinte ao ingressar na Educação Superior;
- b) qualidade das condições do processo formativo oferecido pelo(s) curso(s) de determinada unidade de observação; e
- c) outros elementos que afetam o desempenho do estudante concluinte, captados por um termo de erro.

Assim sendo, o desempenho de cada estudante concluinte no Enade poderia ser decomposto em função dos referidos três aspectos, como mostra a equação 5.

$$C_j = I_j + Q_j + \varepsilon \quad (5)$$

Onde:

C_j é o desempenho observado do estudante concluinte da unidade de observação j no Enade;

I_j é a parte do desempenho do estudante concluinte da unidade de observação j no Enade decorrente de suas características quando ingressante no curso;

Q_j é a parte do desempenho do estudante concluinte decorrente da qualidade das condições de oferta do processo formativo do curso com o qual o estudante da unidade de observação j esteve envolvido; e

ε é o termo de erro, com a hipótese usual de que $E[\varepsilon | I_j, Q_j] = 0$.

Para se obter I_j seria necessário ter uma medida de desempenho do estudante concluinte quando ingressante no curso ou de alguma outra equivalente. Na prática, essa medida vem sendo estimada, desde 2011, a partir das características dos estudantes ingressantes inscritos no Enade disponíveis no banco de dados do Enem.

Entretanto, não é possível se obter essas características sobre todos os estudantes ingressantes, pois, no caso de várias unidades de observação, parte dos ingressantes não tiveram participação no Enem antes de iniciarem o curso de graduação avaliado. Além disso, as metodologias utilizadas pelo Enade e pelo Enem não possibilitam comparações entre si e, no caso do Enade, entre suas próprias edições.

Por outro lado, como forma de superação da limitação exposta, pode-se trabalhar com as médias dos desempenhos dos estudantes ingressantes e concluintes e se obter uma estimativa de I_j com base nas informações sobre os ingressantes no Enem⁴. Nessa direção, para cada unidade de observação, toma-se a ideia de utilização do desempenho dos ingressantes como uma *proxy* para o desempenho dos concluintes no momento de ingresso. Com isso, o IDD pode ser definido conforme a equação 6.

$$IDD_j = \hat{Q}_j = C_j - \hat{I}_j \quad (6)$$

Onde:

IDD_j é a IDD da unidade de observação j ;

\hat{Q}_j é a estimativa da parte do desempenho do estudante concluinte decorrente da qualidade das condições de oferta do processo formativo do curso com o qual o estudante da unidade de observação j esteve envolvido;

C_j é a média dos desempenhos observados dos estudantes concluintes da unidade de observação j no Enade; e

\hat{I}_j é a média da estimativa referente à parte dos desempenhos dos estudantes concluintes da unidade de observação j no Enade decorrente de suas características quando ingressantes no curso.

⁴ A utilização das informações sobre os ingressantes no Enem é explicada na Nota Técnica Inep/Daes nº 29/2012, disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/educacao-superior/indicadores/notas-tecnicas>>.

O IDD é, portanto, na prática, resultante da diferença entre a média dos desempenhos dos estudantes concluintes de uma determinada unidade de observação no Enade e a média da estimativa referente à parte dos desempenhos dos estudantes concluintes da unidade de observação j no Enade decorrente de suas características quando ingressantes no curso.

O primeiro passo para cálculo do IDD é estimar o modelo de regressão linear (mínimos quadrados ordinários) conforme especificado na equação 7. Para tanto, todas as variáveis são agregadas por unidade de observação e os cálculos são efetuados por área de avaliação, de modo que, para cada área, são estimados parâmetros específicos da regressão, sendo os valores assumidos pelas variáveis expressos em desvio da média⁵.

$$C_j = \beta_1 EN_j + \beta_2 EP_j + \beta_3 CI_j + \beta_4 PM_j + \beta_5 PD_j + \beta_6 PR_j + \beta_7 MO_j + \beta_8 MF_j + \beta_9 MA_j + u \quad (7)$$

Onde:

C_j é a média ponderada das notas dos concluintes no componente específico (75%) e na formação geral (25%) da unidade de observação j no Enade;

EN_j é a média das notas dos ingressantes da unidade de observação j no Enem⁶;

EP_j é a proporção de ingressantes da unidade de observação j cujo pai e/ou a mãe tem ao menos nível superior de escolaridade⁷;

CI_j é a razão entre o número de concluintes e o número de ingressantes inscritos na unidade de observação j ;

⁵ O desvio da média é resultante da subtração da variável original observada para cada unidade de observação j pela média da mesma variável calculada para a área de avaliação k a que pertence a unidade de observação j .

⁶ Consideram-se as notas dos estudantes ingressantes, inscritos no Enade, da edição mais recente do Enem (2011 e 2012) em que foram encontrados seus CPF.

⁷ As informações sobre escolaridade dos pais são extraídas do questionário socioeconômico respondido pelos estudantes ingressantes, inscritos no Enade, quando de suas participações no Enem. É considerada a maior escolaridade entre a do pai e a da mãe de cada estudante ingressante, calculando-se a proporção de estudantes que tenham ao menos um dos pais com Ensino Superior completo, agregando-as por unidade de observação.

PM_j é a proporção de docentes na unidade j com título mínimo de mestre;

PD_j é a proporção de docentes na unidade j com título mínimo de doutor;

PR_j é a proporção de docentes na unidade j com regime de trabalho parcial ou integral;

MO_j é a média das respostas referentes à organização didático-pedagógica da unidade de observação j ;

MF_j é a média das respostas referentes à infraestrutura e instalações físicas da unidade de observação j ;

MA_j é a média das respostas referentes às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional unidade de observação j ; e

u é o distúrbio aleatório.

O cálculo da proporção de estudantes da unidade de observação j cujos pais tenham ao menos Ensino Superior completo é demonstrado na equação 8.

$$EP_j = \frac{NS_j}{NR_j} \quad (8)$$

Onde:

EP_j é a proporção de ingressantes da unidade de observação j cujo pai e/ou a mãe tem ao menos nível superior de escolaridade;

NS_j é o número de ingressantes da unidade de observação j que tenha ao menos um dos pais com escolaridade em nível superior completa ou pós-graduação; e

NR_j é o número de ingressantes da unidade de observação j que responderam ao menos uma questão sobre escolaridade dos pais, sendo excluídos as respostas daqueles que não souberam responder sobre nível de escolaridade dos pais.

O modelo de regressão apresentado na equação 7 é estimado duas vezes⁸. Na primeira, estima-se a regressão, computa-se o resíduo e, então, calcula-se o resíduo padronizado, conforme procedimento descrito na equação 9. A partir do resíduo padronizado são identificados as unidade de observação *outliers*, ou seja, para as que o resíduo padronizado foi menor que -3 ou maior que 3. Na segunda estimativa, desconsiderado-se as unidade de observação *outliers*, são obtidos os parâmetros definitivos que serão utilizados no cálculo de \hat{I}_j , necessário ao cálculo do IDD.

$$Z_{u_j} = \frac{u_{k_j} - \bar{u}_k}{s_{u_k}} \quad (9)$$

Onde:

Z_{u_j} é o resíduo padronizado da unidade de observação j ;

u_{k_j} é o resíduo da j -ésima unidade de observação da área de avaliação k ;

\bar{u}_k é a média dos resíduos da área de avaliação k ; e

s_{u_k} é o desvio-padrão dos resíduos da área de avaliação k .

Obtidos os parâmetros da regressão, calcula-se \hat{I}_j , como mostra a equação 10, utilizando-se apenas as variáveis características dos ingressantes – nota no Enem e nível de escolaridade dos pais – e a razão entre o número de concluintes e ingressantes⁹.

$$\hat{I}_j = \beta_1 EN_j + \beta_2 EP_j + \beta_3 CI_j \quad (10)$$

Onde:

⁸ Em ambas as estimações são incluídas somente as unidades de observação que possuem no mínimo 10 ingressantes participantes do Enem e 10 concluintes participantes do Enade além de uma taxa de participação igual ou superior a 20% tanto no Enade quanto no Enem.

⁹ Esta última variável é incluída como forma de contornar possível viés de estimação decorrente à evasão dos estudantes ao longo do curso. Isso foi feito porque, para cursos com elevada taxa de evasão, considerando que a evasão seja um fenômeno não aleatório, o perfil médio dos ingressantes pode não representar bem o dos concluintes.

\widehat{I}_j é estimativa da parte do desempenho do estudante concluinte da unidade de observação j no Enade decorrente de suas características quando ingressante no curso;

EN_j é a média das notas dos ingressantes da unidade de observação j no Enem;

EP_j é a proporção de ingressantes da unidade de observação j cujo pai e/ou a mãe tem ao menos nível superior de escolaridade; e

CI_j é a razão entre o número de concluintes e o número de ingressantes inscritos na unidade de observação j ;

O IDD bruto é calculado para todas as unidades de observação que possuem no mínimo 2 (dois) ingressantes participantes no Enem e 2 (dois) concluintes participantes no Enade, além da taxa de participação mínima de 20% dos ingressantes no Enem. O seu cálculo ocorre como exposto na equação 11, considerando que

$$IDD = C_j - \widehat{I}_j$$

$$IDD_j = C_j - (\beta_1 EN_j + \beta_2 EP_j + \beta_3 CI_j) \quad (11)$$

Onde:

IDD_j é o IDD bruto da unidade j ;

C_j é a média ponderada das notas dos concluintes no componente específico (75%) e na formação geral (25%) da unidade de observação j no Enade;

EN_j é a média das notas dos ingressantes da unidade de observação j no Enem;

EP_j é a proporção de ingressantes da unidade de observação j cujo pai e/ou a mãe tem ao menos nível superior de escolaridade; e

CI_j é a razão entre o número de concluintes e o número de ingressantes inscritos na unidade de observação j ;

Assim como para as demais variáveis, uma vez calculado o *IDD* bruto, efetua-se o procedimento de padronização descrito no item 2 deste documento para se obter a Nota Padronizada do *IDD* (*NIDD*).

Quando não for possível atribuir um *IDD* para uma determinada unidade de observação, a Nota Padronizada do *IDD* receberá o mesmo valor da NC_i (Nota dos Concluintes no Enade) para o cálculo do *CPC*¹⁰.

3.2. Corpo docente

A dimensão *Corpo Docente* é constituída pelos componentes: Nota de Proporção de Mestres (NM_j), Nota de Proporção de Doutores (ND_j) e Nota de Regime de Trabalho (NR_j). Esses componentes são obtidos, cada qual, segundo metodologia própria, conforme indicado nos subtópicos seguintes.

3.2.1. Nota de Proporção de Mestres (NM_j)

Para se obter a nota relativa à proporção de professores mestres da unidade j , inicialmente, calcula-se a proporção de docentes com titulação igual ou superior a mestre – ou seja, titulação obtida ou validada por programa de pós-graduação *stricto sensu* reconhecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) – conforme mostra a equação 12. Em seguida, essa medida é padronizada conforme o procedimento descrito no item 2 deste documento.

$$PM_j = \frac{M_j}{T_j} \quad (12)$$

Onde:

PM_j é a proporção de docentes da unidade de observação j com titulação igual ou superior a mestre;

M_j é o número de docentes da unidade de observação j com titulação igual ou superior a mestre; e

¹⁰ Isto ocorre quando a unidade não apresenta os critérios mínimos para obtenção do *IDD* ou quando não é possível estimar os parâmetros de algumas áreas por insuficiência de dados.

T_j é o número total de docentes vinculados à unidade de observação j .

As unidades que não possuem docentes com a referida titulação, terão a Nota de Professores Mestres computada como 0 (zero) para o cálculo do CPC.

3.2.2. Nota de Proporção de Doutores (ND_j)

Para se obter a nota relativa à proporção de professores doutores da unidade j , inicialmente, calcula-se a proporção de docentes com título de doutor obtido ou validado por programa de pós-graduação *stricto sensu* reconhecido pela Capes, conforme mostra a equação 13. Em seguida, essa medida é padronizada conforme o procedimento descrito no item 2 desta nota técnica.

$$PD_j = \frac{D_j}{T_j} \quad (13)$$

Onde:

PD_j é a proporção de docentes da unidade de observação j com título de doutor;

D_j é o número de docentes da unidade de observação j com título de doutor;

e

T_j é o número total de docentes vinculados à unidade j .

As unidades que não possuem docentes com a referida titulação, terão a Nota de Proporção de Doutores computada como 0 (zero) para o cálculo do CPC.

3.2.3. Nota de Regime de Trabalho (NR_j)

Para se obter a nota relativa à proporção de professores com regime de trabalho parcial ou integral da unidade j , inicialmente, calcula-se a proporção de docentes com regime de trabalho parcial ou integral conforme mostra a equação 13. Em seguida, essa medida é padronizada conforme o procedimento descrito no item 2 deste documento.

$$PR_j = \frac{R_j}{T_j} \quad (14)$$

Onde:

PR_j é a proporção de docentes da unidade de observação j com regime de trabalho parcial ou integral;

R_j é o número de docentes da unidade de observação j com regime de trabalho parcial ou integral; e

T_j é o número total de docentes vinculados à unidade de observação j .

As unidades que não possuem docentes com os referidos regimes de trabalho, terão a Nota de Regime de Trabalho computada como 0 (zero) para o cálculo do CPC.

3.3. Percepção Discente sobre as Condições do Processo Formativo

A dimensão *Percepção Discente sobre as Condições do Processo Formativo* é constituída pelos componentes: Nota referente à organização didático-pedagógica (NO_j), Nota referente à infraestrutura e instalações físicas (NF_j) e Nota referente às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional (NA_j). As formas de cálculo dos componentes seguem metodologias próprias descritas nos subtópicos subsequentes.

O Questionário do Estudante aplicado no Enade 2013 teve mudanças significativas com relação ao de 2012. A explicação detalhada dessas mudanças e dos impactos no cálculo do CPC de 2013 é objeto da Nota Técnica Daes/Inep Nº 70¹¹, de 15 de outubro de 2014.

Os itens de número 26 a 67 do Questionário do Estudante de 2013 são os que tratam da percepção dos estudantes sobre diversos aspectos relativos aos cursos e às instituições. Esses itens caracterizam-se como variáveis ordinais e estão em escala *likert*. As respostas possíveis a todos esses itens seguem o padrão abaixo:

1 (Discordo Totalmente)

¹¹ Essa Nota Técnica está disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/educacao-superior/indicadores/notas-tecnicas>>.

- 2
3
4
5
6 (Concordo Totalmente)
(Não sei responder / Não se aplica)

3.3.1. Nota referente à organização didático-pedagógica (NO_j)

Para calcular o componente *Nota referente à organização didático-pedagógica* (NO_j), inicialmente, obtém-se a média das respostas dos itens 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 41, 46, 47, 48, 49, 50, 53, 54, 56 e 57 do Questionário do Estudante para cada estudante i da unidade de observação j (QO_{ji}). Com esse procedimento obtém-se a NO de cada estudante i da unidade j – nota do componente (NO_j) por estudante. Destaca-se que os itens com resposta “(Não sei responder / Não se aplica)” são excluídos do cálculo das médias das respostas por estudante e, conseqüentemente, por unidade de observação.

Em seguida, calcula-se a média das notas do componente geradas para cada estudante i da unidade de observação j , obtendo-se, assim, a *Nota referente à organização didático-pedagógica* da unidade de observação j , em sua forma bruta, conforme mostra a equação 15.

$$DO_j = \frac{\sum_{i=1}^N QO_{ji}}{N} \quad (15)$$

Onde:

DO_j é a nota bruta relativas à organização didático-pedagógica da unidade de observação j ;

QO_{ji} é a média das respostas dos itens relativos à organização didático-pedagógica de cada estudante i da unidade de observação j ; e

N é o número de estudantes da unidade de observação j que responderam ao menos 1 (um) item relativo à organização didático-pedagógica.

Essa medida é padronizada e transformada, conforme procedimento descrito no item 2 deste documento, para dar origem à *Nota referente à organização didático-*

pedagógica (NO) da unidade j . Caso nenhum estudante tenha respondido ao menos 1 (um) item relativo a esse componente, a unidade de observação terá a NO_j computada como 0 (zero) para o cálculo do CPC.

3.3.2. Nota referente à infraestrutura e instalações físicas (NF_j)

Para calcular o componente *Nota referente à infraestrutura e instalações físicas (NF_j)*, inicialmente, obtém-se a média das respostas dos itens 39, 40, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66 e 67 do Questionário do Estudante para cada estudante i da unidade de observação j (QF_{ji}), excluindo-se os itens com resposta “(Não sei responder / Não se aplica)”. Com esse procedimento obtém-se a NF de cada estudante i da unidade j – nota do componente (NF_j) por estudante.

Em seguida, calcula-se a média das notas do componente geradas para cada estudante i da unidade de observação j , obtendo-se, assim, a *Nota referente à infraestrutura e instalações físicas* da unidade de observação j , em sua forma bruta, conforme exposto na equação 16.

$$DF_j = \frac{\sum_{i=1}^N QF_{ji}}{N} \quad (16)$$

Onde:

DF_j é a nota bruta à infraestrutura e instalações físicas da unidade de observação j ;

QF_{ji} é a média das respostas dos itens relativos à infraestrutura e instalações físicas do estudante i da unidade de observação j ; e

N é o número de estudantes da unidade de observação j que responderam ao menos 1 (um) item relativo à infraestrutura e instalações físicas.

Essa medida é padronizada e transformada, conforme procedimento descrito no item 2 deste documento, para dar origem à *Nota referente à infraestrutura e instalações físicas (NF)* da unidade j . Caso nenhum estudante tenha respondido ao menos 1 (um) item relativo a esse componente, a unidade de observação terá a NF_j computada como 0 (zero) para o cálculo do CPC.

3.3.3. Nota referente às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional (NA_j)

Para calcular o componente *Nota referente às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional* (NA_j), obtém-se, excluindo-se os itens com resposta “(Não sei responder / Não se aplica)”, a média das respostas dos itens 42, 43, 44, 45, 51 e 52 do Questionário do Estudante para cada estudante i da unidade de observação j (QA_{ji}). Com esse procedimento obtém-se a NA de cada estudante i da unidade j – nota do componente (NA_j) por estudante.

Em seguida, calcula-se a média das notas do componente geradas para cada estudante i da unidade de observação j , obtendo-se, assim, a *Nota referente às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional* da unidade de observação j , em sua forma bruta, conforme exposto na equação 17.

$$DA_j = \frac{\sum_{i=1}^N QA_{ji}}{N} \quad (17)$$

Onde:

DA_j é a nota bruta às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional da unidade j ;

QA_{ji} é a média das respostas dos itens relativos às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional do estudante i da unidade j ; e

N é o número de estudantes da unidade j que responderam ao menos 1 (um) item relativo às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional.

Essa medida é padronizada e transformada, conforme procedimento descrito no item “2”, para dar origem à *Nota referente às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional* (NA) da unidade j . Caso nenhum estudante tenha respondido ao menos 1 (um) item relativo a esse componente, a unidade de observação terá a NA_j computada como 0 (zero) para o cálculo do CPC.

4. Fórmula do Conceito Preliminar de Curso

A composição e a forma de cálculo do CPC de 2013, com os respectivos pesos dos componentes, é apresentada na fórmula 20, reproduzida conforme exposta na Nota Técnica Daes/Inep nº 70/2014.

$$NCPC_j = 0,2NC_j + 0,35NIDD_j + 0,075NM_j + 0,15ND_j + 0,075NR_j + 0,075NO_j + 0,05NF_j + 0,025NA_j \quad (20)$$

Onde:

$NCPC_j$ é a Nota contínua do Conceito Preliminar de Curso da unidade de observação j ;

NC_j é a Nota dos Concluintes no Enade da unidade de observação j ;

$NIDD_j$ é a Nota do Indicador de Diferença entre os Desempenhos Observado e Esperado da unidade de observação j ;

NM_j é a Nota de Proporção de Mestres da unidade de observação j ;

ND_j é a Nota de Proporção de Doutores da unidade de observação j ;

NR_j é a Nota de Regime de Trabalho da unidade de observação j ;

NO_j é a Nota referente à organização didático-pedagógica da unidade de observação j ;

NF_j é a Nota referente à infraestrutura e instalações físicas da unidade de observação j ; e

NA_j é a Nota referente às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional unidade de observação j .

A *Nota Contínua do Conceito Preliminar de Curso (NCPC)*, calculada para cada unidade de observação, é uma variável contínua que pode assumir valores de 0 (zero) a 5 (cinco). A *NCPC* convertida segundo os critérios expostos na “TABELA 1”, é transformada no *Conceito Preliminar de Curso* propriamente dito, que é uma variável discreta definida de 1(um) a 5 (cinco).

TABELA 1 – Parâmetros de conversão do $NCPC_j$ em CPC

CPC (Faixa)	$NCPC_j$ (Valor Contínuo)
1	$0 \leq NC_j < 0,945$
2	$0,945 \leq NC_j < 1,945$
3	$1,945 \leq NC_j < 2,945$
4	$2,945 \leq NC_j < 3,945$
5	$3,945 \leq NC_j \leq 5$

Fonte: Inep/Daes

Apêndice I – Áreas avaliadas pelo Enade em 2013

CÓDIGO	ÁREA DE ENQUADRAMENTO
5	MEDICINA VETERINÁRIA
6	ODONTOLOGIA
12	MEDICINA
17	AGRONOMIA
19	FARMÁCIA
23	ENFERMAGEM
27	FONOAUDIOLOGIA
28	NUTRIÇÃO
36	FISIOTERAPIA
38	SERVIÇO SOCIAL
51	ZOOTECNIA
55	BIOMEDICINA
69	TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA
90	TECNOLOGIA EM AGRONEGÓCIOS
91	TECNOLOGIA EM GESTÃO HOSPITALAR
92	TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL
3501	EDUCAÇÃO FÍSICA (BACHARELADO)

A.4 Nota técnica de cálculo do Índice Geral de Cursos (IGC 2013)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA
DIRETORIA DE AVALIAÇÃO DA EDUCAÇÃO SUPERIOR

NOTA TÉCNICA nº 73

Cálculo do Índice Geral de Cursos Avaliados da Instituição referente a 2013

Brasília/DF

20 de outubro de 2014

Atualizada em 09 de dezembro de 2014

República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - Inep

Diretoria de Avaliação da Educação Superior

Claudia Maffini Griboski

Coordenação Geral de Controle de Qualidade da Educação Superior

Stela Maria Meneghel

Equipe Técnica:

Gleidilson Costa Alves

Janaina Ferreira Ma

José Bonifácio de Araújo Júnior

Marcelo Pardellas Cazzola

Renato Augusto dos Santos

1. Introdução

O Índice Geral de Cursos Avaliados da Instituição (IGC) é uma média ponderada dos conceitos dos cursos de graduação e de pós-graduação *stricto sensu* da Instituição. O conceito da graduação é calculado com base nos Conceitos Preliminares de Cursos (CPC) e o conceito da pós-graduação *stricto sensu* é calculado a partir de uma conversão dos conceitos fixados pela Capes. Para ponderar esses conceitos, utiliza-se a distribuição dos estudantes da IES entre os diferentes níveis de ensino (Graduação, Mestrado e Doutorado).

Para o cálculo do IGC de 2013 são considerados os CPC referentes às avaliações dos cursos de graduação feitas no triênio 2011-2012-2013. Para ponderar os CPC são utilizadas as matrículas (matriculados + formados) obtidas nos Censos da Educação Superior de 2011, 2012 e 2013. Para a pós-graduação *stricto sensu* são utilizadas as notas Capes, da Avaliação Trienal 2013, atribuídas aos programas de Mestrado e Doutorado e dos programas novos (recomendados ou reconhecidos após a Avaliação Trienal). As matrículas nos programas de pós-graduação (matriculados + titulados – ano base 2013) são a base para a ponderação das notas dos programas de pós-graduação *stricto sensu*.

Nas hipóteses de unificação de mantidas, transferência de mantença ou outras ocorrências que possam interferir no cálculo do IGC, são considerados, para efeito de cálculo, os cursos que integrem a Instituição até a data de referência, considerada essa como o prazo final de inscrição de estudantes no Enade (31/08/2013), conforme o parágrafo sétimo do artigo 33-B da Portaria Normativa do MEC nº 40/2007.

O IGC, portanto, é calculado por IES a partir dos conceitos médios da graduação e da pós-graduação *stricto sensu*, conforme apresentado a seguir. Nas Instituições sem cursos ou programas de pós-graduação *stricto sensu* avaliados pela Capes, o IGC é simplesmente a média ponderada dos cursos de graduação.

2. Conceito Médio da Graduação (G_{ies})

O conceito médio da graduação de uma IES é a média ponderada (pelos números de estudantes matriculados) dos Conceitos Preliminares dos Cursos de suas unidades de observação, como exposto na equação 1.

$$G_{ies} = \sum_{j=1}^n CPC_j \varphi_j \quad (1)$$

Onde:

G_{ies} é o conceito médio da graduação da IES;

CPC_j é o CPC da unidade de observação j da IES;

$\varphi_j = \frac{n_j}{T_G}$ é a proporção de matriculados da unidade de observação j ;

n_j é o número de matriculados na unidade de observação j nos respectivos anos de cálculo do CPC;

T_G é o total de matriculados dos cursos de graduação da IES para os quais foi possível calcular o CPC de 2011 a 2013; e

n é o número total de unidades da IES.

3. Conceito Médio do Mestrado (M_{ies})

Sendo $Capes(M)_j$ o conceito obtido pelo programa de Mestrado na Capes, a nota dos estudantes de Mestrado do programa de pós-graduação j é dada por $M_j = Capes(M)_j$ caso $Capes(M)_j \leq 5$, e $M_j = 5$ caso $Capes(M)_j > 5$. Consideram-se apenas programas de pós-graduação que obtiveram conceito $Capes(M)_j \geq 3$.

Assim, o conceito médio do mestrado é obtido a partir da equação 2.

$$M_{ies} = \sum_{j=1}^m M_j \theta_j \quad (2)$$

Onde:

M_{ies} é o conceito médio do mestrado da IES;

M_j é a nota do programa de mestrado j da IES;

$\theta_j = \frac{m_j}{T_M}$ é a proporção de matriculados no programa de mestrado j da IES;

m_j é o número de matriculados no programa de mestrado j da IES;

T_M é o total de matriculados nos programas de mestrado da IES para os quais se atribuiu a nota Capes; e

m é o número total de programas de mestrado da IES.

4. Conceito Médio do Doutorado (D_{ies})

Sendo $Capes(D)_j$ o conceito obtido pelo programa de Doutorado na Capes, a nota dos estudantes de Doutorado do programa de pós-graduação j é dada por: $D_j = Capes(D)_j - 2$. Novamente, consideram-se apenas programas de pós-graduação que obtiveram conceito $Capes(D)_j \geq 3$.

Assim, o conceito médio do Doutorado é calculado conforme a equação 3.

$$D_{ies} = \sum_{j=1}^h D_j \gamma_j \quad (3)$$

Onde:

D_{ies} é o conceito médio do doutorado da IES;

D_j é a nota do programa de doutorado j da IES;

$\gamma_j = \frac{h_j}{T_D}$ é a proporção de matriculados no programa de doutorado j da IES;

h_j é o número de matriculados no programa de doutorado j da IES;

T_D é o total de matriculados nos programas de doutorado da IES para os quais se atribuiu a nota Capes; e

h é o número total de programas de doutorado da IES.

5. Mestrandos e Doutorandos em graduandos equivalentes

O próximo passo para obtenção do IGC é o cálculo do número de mestrandos e o de doutorandos em termos de graduandos equivalentes. Como mostra a equação 4, 1 (um) estudante de Mestrado com nota Capes 3 equivale a 1 (um) de graduação, 1 (um) estudante de Mestrado com nota 4 equivale a 2 (dois) de graduação e 1 (um) estudante de Mestrado com nota 5 equivale a 3 (três) de graduação.

$$T_{ME} = \sum_{j=1}^m m_j (M_j - 2) \quad (4)$$

Onde:

T_{ME} é o número de mestrandos em termos de graduandos equivalentes da IES;

m_j é o número de matriculados no programa de mestrado j da IES; e

M_j é a nota do programa de mestrado j da IES.

O número de doutorandos em termos de graduandos equivalentes segue a mesma ideia do número de mestrandos como mostra a equação 5. Assim, 1 (um) estudante

de Doutorado com nota Capes 3 equivale a 1 (um) de graduação, 1 (um) estudante de Doutorado com nota 4 equivale a 2 (dois) de graduação, 1 (um) estudante de Doutorado com nota 5 equivale a 3(três) de graduação, 1(um) estudante de Doutorado com nota 6 equivale a 4 (quatro) de graduação e 1 (um) estudante de Doutorado com nota 7 equivale a 5 (cinco) de graduação.

$$T_{DE} = \sum_{j=1}^h h_j D_j \quad (5)$$

Onde:

T_{DE} é o número de doutorandos em termos de graduandos equivalentes da IES;

h_j é o número de matriculados no programa de doutorado j da IES; e

D_j é a nota do programa de doutorado j da IES.

6. Fórmula de Cálculo

Para o cálculo final do IGC, é necessário se obter a proporção de graduandos e a proporção de mestrandos – equivalentes, como mostrado nas equações 6 e 7.

$$\alpha = \frac{T_G}{T_G + T_{ME} + T_{DE}} \quad (6)$$

Onde:

α é a proporção de graduandos;

T_G é o total de matriculados dos cursos de graduação da IES para os quais foi possível calcular o CPC de 2011 a 2013;

T_{ME} é o número de mestrandos em termos de graduandos equivalentes da IES;

e

T_{DE} é o número de doutorandos em termos de graduandos equivalentes da IES.

$$\beta = \frac{T_{ME}}{T_{ME} + T_{DE}} \quad (7)$$

Onde:

β é a proporção de mestrandos – equivalentes;

T_{ME} é o número de mestrandos em termos de graduandos equivalentes da IES;

e

T_{DE} é o número de doutorandos em termos de graduandos equivalentes da IES.

Por fim, o Índice Geral de Cursos Avaliados da IES (IGC) é calculado conforme a equação 8.

$$IGC_{ies} = \alpha G_{ies} + \frac{(1-\alpha)\beta}{2} (M_{ies} + 5) + \frac{(1-\alpha)(1-\beta)}{3} (D_{ies} + 10) \quad (8)$$

Onde:

IGC_{ies} é o Índice Geral de Cursos Avaliados da IES;

α é a proporção de graduandos;

G_{ies} é o conceito médio da graduação da IES;

β é a proporção de mestrandos – equivalentes;

M_{ies} é o conceito médio do mestrado da IES; e

D_{ies} é o conceito médio do doutorado da IES.

O resultado do IGC obtido por meio da Eq. 8 é uma variável contínua no intervalo entre 0 e 5. Para transformar esta variável contínua em faixas, segue-se a Tabela 1.

TABELA 1 – Distribuição do IGC

IGC (Faixa)	IGC_j (Valor Contínuo)
1	$0 \leq NC_j < 0,945$
2	$0,945 \leq NC_j < 1,945$
3	$1,945 \leq NC_j < 2,945$
4	$2,945 \leq NC_j < 3,945$
5	$3,945 \leq NC_j \leq 5$

Fonte: Inep/Daes