



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

**CARLOS ALEX MARTINS OLIVEIRA**

**CONTRIBUIÇÕES DA EDUCOMETRIA PARA A AVALIAÇÃO DO SUCESSO  
ACADÊMICO NO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA  
UFC**

**FORTALEZA**

**2025**

CARLOS ALEX MARTINS OLIVEIRA

CONTRIBUIÇÕES DA EDUCOMETRIA PARA A AVALIAÇÃO DO SUCESSO  
ACADÊMICO NO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UFC

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Teleinformática. Área de concentração: Sinais e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. João Cesar Moura Mota.  
Coorientador: Prof. Dr. Thomaz Edson Veloso da Silva.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

O46c Oliveira, Carlos Alex Martins.

Contribuições da educometria para a avaliação do sucesso acadêmico no curso de graduação em engenharia elétrica da UFC / Carlos Alex Martins Oliveira. – 2025.

121 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. João Cesar Moura Mota.

Coorientação: Prof. Dr. Thomaz Edson Veloso da Silva.

1. Educação em engenharia. 2. Avaliação. 3. Educometria. 4. Evasão. 5. Retenção. I. Título.

CDD 621.38

---

CARLOS ALEX MARTINS OLIVEIRA

CONTRIBUIÇÕES DA EDUCOMETRIA PARA A AVALIAÇÃO DO SUCESSO  
ACADÊMICO NO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UFC

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Teleinformática. Área de concentração: Sinais e Sistemas.  
Aprovada em: 14/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Prof. Dr. Walter da Cruz Freitas Júnior  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Paulo Cesar Cortez  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr Wagner Bandeira Andriola  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Renato da Rocha Lopes  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

---

Prof. Dr. Thomaz Edson Veloso da Silva  
Instituto ISA (ISA)

---

Profa. Dra. Gisele Azevedo de Araújo Freitas  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Francisco Carlos Oliveira e  
Maria de Fátima Martins Oliveira.

À minha esposa, Francisca Natália Façanha  
Gomes e aos meus filhos Carlos Rafael Façanha  
Martins e Carlos Daniel Façanha Martins.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, minha gratidão infinita por me proporcionar este momento tão especial e ímpar em minha vida. Este sonho, que hoje se realiza, é fruto de muito esforço, perseverança e fé. Sem Sua presença em cada etapa dessa jornada, este marco não seria possível. Também agradeço a Nossa Senhora, que, com Sua intercessão e proteção maternal, guiou-me em todos esses anos.

Aos meus pais, Francisco Carlos Oliveira e Maria de Fátima Martins Oliveira, minha eterna gratidão. Vocês me deram tudo o que eu precisava para chegar até aqui: amor, força, apoio e ensinamentos que moldaram a pessoa que me tornei. Sua presença e dedicação em minha vida foram fundamentais para que este sonho pudesse se concretizar. Meu muito obrigado por sempre acreditarem em mim e por estarem ao meu lado em todos os momentos.

À minha família, minha base e meu alicerce, expresso minha mais profunda gratidão. Durante todos esses anos, precisei renunciar a feriados, finais de semana e tantos momentos de lazer para me dedicar aos estudos, e vocês foram sempre compreensivos e pacientes. À minha esposa, Francisca Natália Façanha Gomes, e aos meus filhos, Carlos Rafael Façanha Gomes e Carlos Daniel Façanha Gomes, um agradecimento especial. Vocês são o meu pilar, minha motivação e minha fonte de força para enfrentar os desafios e concretizar este sonho. Esta conquista também é de vocês. Muito obrigado por todo o amor, apoio e confiança ao longo dessa jornada.

Agradeço imensamente aos meus irmãos, Nágela Martins Oliveira Aguiar e Carlos Emanoel Martins Oliveira, por todo o apoio, carinho e compreensão ao longo de minha trajetória. Agradeço também ao meu cunhado, Sérgio Aguiar, pelos valiosos ensinamentos, incentivo e apoio incondicional. A presença de vocês em minha vida foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), minha sincera gratidão, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática (PPGETI), vinculado ao Departamento de Engenharia de Teleinformática (DETI) do Centro de Tecnologia (CT). Agradeço a todos os professores do Programa pela contribuição valiosa, pelas orientações e pela atenção dedicada ao longo desta jornada. O conhecimento adquirido e o ambiente acadêmico proporcionado foram essenciais para a realização deste trabalho.

À Secretaria de Educação do Estado do Ceará (SEDUC) por permitir que, sendo servidor público, eu me mantivesse afastado para estudo. Esse apoio foi fundamental para eu fazer e terminar o Doutorado.

Ao meu orientador, professor Dr. João Cesar Moura Mota, professor titular do PPGETI/DETI/UFC, minha mais profunda gratidão. Sua orientação foi essencial durante toda esta jornada. Mais do que um orientador, o senhor foi um mentor, compartilhando suas vivências, seu vasto conhecimento e, acima de tudo, motivando-me a superar os desafios. Muito obrigado por tudo. O senhor não apenas contribuiu para a realização deste trabalho, mas também me ajudou a me tornar uma pessoa mais inteligente, madura e, acima de tudo, um verdadeiro pesquisador.

Ao meu coorientador, Thomaz Edson Veloso da Silva, meu sincero agradecimento. Desde o início desta jornada, o senhor esteve ao meu lado, oferecendo apoio, ensinamentos e orientação indispensáveis. Sua dedicação e experiência foram essenciais para que eu pudesse conduzir e concluir minha pesquisa com sucesso. Muito obrigado por sua paciência, por compartilhar seu conhecimento e por acreditar no meu potencial ao longo de todo esse processo.

Aos professores Wagner Bandeira Andriola e Gisele Azevedo de Araújo Freitas, meu sincero agradecimento pelo tempo dedicado, pelas valiosas colaborações e sugestões que enriqueceram imensamente este trabalho. Vocês foram fundamentais para a conclusão do curso, contribuindo de forma significativa com seu conhecimento e experiência. Tive a sorte de contar com verdadeiros coorientadores ao longo desse processo, e essa parceria foi essencial para alcançar este momento tão especial.

Ao professor Jarbas Aryel Nunes da Silveira (PPGETI/DETI/UFC), meu profundo agradecimento por me apresentar ao programa e reacender em mim o sentimento de ser um pesquisador, deixando sempre seu apoio acadêmico, pessoal e espiritual.

Aos meus colegas de doutorado, Michel Gonzaga dos Santos, Caio Costa do Amaral e ao ex-aluno do programa, atualmente professor da UFC, Nícolas de Araújo Moreira, meu sincero agradecimento. Vocês foram fundamentais em todo o processo, oferecendo apoio, compartilhando conhecimentos e contribuindo com sua amizade. A colaboração de cada um de vocês tornou esta jornada mais leve e enriquecedora.

Aos servidores Sérgio Ricardo Braga Moura Filho e José Hemison de Sousa Magalhães, com quem tive a oportunidade de dividir trabalhos na Escola Integrada de Desenvolvimento e Inovação Acadêmica (EIDEIA) em pesquisas, meu sincero agradecimento. Vocês se tornaram verdadeiros amigos ao longo dessa jornada, sempre se prontificando a colaborar, seja nas atividades de pesquisa ou, principalmente, no apoio que me ofereceram quando necessário.

A todas as pessoas, que de alguma maneira, contribuíram para a realização desse trabalho. Deixo o meu verdadeiro e sincero obrigado.

“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez”  
(COCTEAU, 1953).

## RESUMO

A Avaliação Educacional possibilita acompanhar o rendimento acadêmico dos estudantes de graduação e o desempenho das instituições de ensino superior brasileiras, assim como diagnosticar e delinear soluções para mitigar problemas como retenção e evasão. Embora a área da Educação apresente investigações qualitativas sobre os fenômenos do contexto educacional, é possível recorrer aos modelos estatísticos e matemáticos da Educometria para complementar e aprofundar a análise das múltiplas variáveis envolvidas no insucesso e no abandono do curso pelo estudante. Esta pesquisa teve como objetivo explorar a estrutura curricular do curso de graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da UFC para identificar as causas subjacentes à retenção e à evasão dos seus estudantes, considerando o lapso temporal de 2015 a 2022. Trata-se de uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e descritiva, que utilizou técnicas da Educometria como análise de componentes principais (PCA) associada aos grafos e acoplamento de matrizes (CMF). Os resultados mostraram que o insucesso nas disciplinas do núcleo básico é um fator preditor para a retenção e a evasão dos estudantes do curso de graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da UFC. Além disso, as evidências destacaram que o insucesso nas disciplinas básicas impacta na capacidade do estudante aplicar os conhecimentos técnico-científicos em situações práticas, o que reforça a necessidade de integrar teoria e prática para promover a educação integral do estudante. Desse modo, foi possível concluir que a estrutura curricular do curso de graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da UFC em Fortaleza no período estudado necessitaria ser reformulada, considerando eventualmente a análise feita nesta tese, para articular as disciplinas teóricas e práticas e favorecer a progressão dos estudantes dos semestres iniciais para os semestres subsequentes.

**Palavras-chave:** educação em engenharia; avaliação; educometria; evasão; retenção.

## ABSTRACT

Educational Evaluation is essential for monitoring the academic performance of undergraduate students and assessing the effectiveness of Brazilian higher education institutions. It also facilitates the diagnosis of issues related to student retention and dropout rates, allowing for the development of targeted solutions. While qualitative research in education provides insights into various educational phenomena, integrating statistical and mathematical models from Eduometrics can enhance the analysis of the numerous factors contributing to student failure and dropout. This research focused on examining the curricular structure of the undergraduate Electrical Engineering program at the UFC Technology Center, aiming to identify the root causes of student retention and dropout from 2015 to 2022. It employed an applied research methodology with a quantitative and descriptive approach, utilizing Eduometrics techniques such as principal component analysis (PCA) in conjunction with graph and coupled matrix factorization (CMF). The findings revealed that failure in core disciplines is a significant predictor of retention and dropout among students in the undergraduate Electrical Engineering program. Moreover, the evidence indicated that difficulties in fundamental disciplines adversely affect students' abilities to apply technical and scientific knowledge in practical contexts. This highlights the necessity of integrating theoretical and practical contents within the curriculum to foster integral education. In conclusion, the curricular structure of the undergraduate Electrical Engineering program at the UFC Technology Center in Fortaleza in force during the period studied needed to be reformulated, possibly taking into account the analysis made in this thesis, to articulate the theoretical and practical disciplines and favor the progression of students from the initial semesters to subsequent ones.

**Keywords:** engineering education; evaluation; eduometrics; dropout; retention.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Etapas da revisão sistemática da literatura .....	32
Figura 2 - Grafo da dependência entre as disciplinas obrigatórias .....	56
Figura 3 - Representação esquemática de decomposição dos dados no PCA .....	65
Figura 4 - Acoplamento das matrizes X e Y .....	66
Figura 5 - Acoplamento das matrizes X e Y (CMF) .....	67

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Porcentagem dos dados de insucesso do CT da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2 .....	75
Gráfico 2 - Porcentagem dos dados de insucesso da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2 .....	75
Gráfico 3 - Porcentagem dos dados de insucesso do Curso de Engenharia Elétrica da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2 .....	76
Gráfico 4 - Porcentagem dos dados de insucesso do Curso de Engenharia Elétrica, do CT e da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2 .....	77
Gráfico 5 - Média e desvio padrão do NASS da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2 .....	78
Gráfico 6 - Histograma de densidade do NASS CT 2020.1 .....	79
Gráfico 7 - Porcentagem dos dados de insucesso de alguns cursos do CT nos semestres de 2015.1 a 2022.2 .....	80
Gráfico 8 - Porcentagem dos dados de insucesso de alguns cursos do CT nos semestres de 2015.1 a 2022.2 .....	80
Gráfico 9 - Histograma de densidade do NASS da Engenharia Elétrica 2018.1 .....	84
Gráfico 10 - Quantidade de disciplinas pré-requisitos para outras disciplinas .....	88
Gráfico 11 - Quantidade de disciplinas que possuem pré-requisitos .....	89
Gráfico 12 - Mapa de calor com a correlação dos anos da matriz de aprovados .....	90
Gráfico 13 - Mapa de calor com a correlação das disciplinas da matriz de aprovados .....	92
Gráfico 14 - Mapa de calor com a correlação das disciplinas da matriz de aprovados (Cenário 1) .....	93
Gráfico 15 - Mapa de calor com a correlação das disciplinas da matriz de aprovados (Cenário 2) .....	94
Gráfico 16 - Autovalores da variável ano .....	96
Gráfico 17 - Método de Elbow PCA anos .....	98
Gráfico 18 - Carregamentos .....	99
Gráfico 19 - Escores .....	101
Gráfico 20 - Biplot .....	102
Gráfico 21 - Anos do acoplamento de matrizes .....	105
Gráfico 22 - Disciplinas do acoplamento de matrizes .....	107

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Busca por “formação” AND “engenheiro” no Portal de Periódicos CAPES ....	33
Quadro 2 - Busca por “educação em engenharia” no Portal de Periódicos CAPES.....	42
Quadro 3 - Categorias temáticas.....	44
Quadro 4 - Estrutura curricular do curso de Engenharia Elétrica da UFC.....	55
Quadro 5 - Pseudocódigo do algoritmo ALS .....	70
Quadro 6 - Grupos de disciplinas do PCA .....	99
Quadro 7 - Grupos de disciplinas do CMF .....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conexão entre fatores.....	61
Tabela 2 - Situação dos alunos na UFC.....	72
Tabela 3 - A quantidade de disciplinas do CT entre os 60 maiores NASS da UFC .....	81
Tabela 4 - As disciplinas do CT com maiores NASS no semestre 2015.1 .....	82
Tabela 5 - As disciplinas do curso de Engenharia Elétrica com maiores NASS no semestre 2018.1 .....	83
Tabela 6 - Aparições com os 60 maiores NASS por semestre das disciplinas do curso de Engenharia Elétrica .....	84
Tabela 7 - Testes de validação do PCA.....	89
Tabela 8 - Variância explicada referente à matriz de correlação com a variável disciplina	96
Tabela 9 - Componentes (carregamentos) dos autovetores associados aos 2 maiores autovalores e às disciplinas correspondentes .....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACG	Avaliação dos Cursos de Graduação
AF	Análise Fatorial
ALS	Alternating Least Squares
ARPF	Alunos com Reprovação por Falta
ARPN	Alunos com Reprovação por Nota
AT	Alunos com Trancamento
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CFESP	Centro Ferroviário de Ensino e Seleção Profissional
CMF	Coupled Matrix Factorization
COBENGE	Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia
CPA	Comissão Própria de Avaliação
CPC	Conceito Preliminar de Curso
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CT	Centro de Tecnologia
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
EB	Esfericidade de Bartlet
EIDEIA	Escola Integrada de Desenvolvimento e Inovação Acadêmica
ENADE	Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes
ENC	Exame Nacional de Cursos
ESEA	Elementary and Secondary Education Act
ETS	Educational Testing Service
IES	Instituições de Ensino Superior
IFES	Instituições Federais de Ensino Superior
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
IGC	Índice Geral de Cursos Avaliados da Instituição
IGI	Índice Global de Inovação
IRA	Índice de Rendimento Acadêmico
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
MEC	Ministério da Educação
NASS	Número de Alunos Sem Sucesso

OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCA	Principal Component Analysis
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PET	Programa de Educação Tutorial
PPC	Projeto Pedagógico do Curso
PROPAG	Programa de Articulação entre Graduação e Pós-Graduação
REUNI	Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
SESU	Secretaria de Educação Superior
SIGAA	Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas
SINAES	Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior
SSE	Sum of Squared Errors
STI	Superintendência de Tecnologia da Informação
SUP	Supressão
SVD	Singular Value Decomposition
TCU	Tribunal de Contas da União
TSG	Taxa de Sucesso na Graduação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
UFTM	Universidade Federal do Triângulo Mineiro
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WIPO	World Intellectual Property Organization

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A, X, Y, Z, U, V$  e  $W$  Matriz

$a_k F_k$  carga fatorial da variável

$u_i D_i$  variância específica

$Z$  valor normalizado

$X$  o valor original da variável

$\bar{X}$  média da variável

$s$  desvio padrão

$x$  escalar

$r$  Correlação amostral

$v$  autovetores

$\lambda$  autovalores

$\Lambda$  matriz diagonal

$f(U, V, W)$  Função multiobjetiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Avaliação educacional .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>Educometria .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3</b>	<b>A formação de engenheiros no Brasil .....</b>	<b>32</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da pesquisa .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>Contexto da pesquisa .....</b>	<b>54</b>
<b>3.3</b>	<b>Amostragem .....</b>	<b>54</b>
<b>3.4</b>	<b>Coleta de dados .....</b>	<b>56</b>
<b>3.5</b>	<b>Análise dos dados e modelagem estatística .....</b>	<b>57</b>
<b>3.5.1</b>	<b><i>Número de Alunos sem Sucesso (NASS) .....</i></b>	<b>58</b>
<b>3.5.2</b>	<b><i>Análise de Componentes Principais (PCA) .....</i></b>	<b>59</b>
<b>3.5.3</b>	<b><i>Análise do Acoplamento de Matrizes (CMF) .....</i></b>	<b>66</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>71</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise descritiva dos dados .....</b>	<b>71</b>
<b>4.2</b>	<b>Número de Alunos sem Sucesso (NASS) .....</b>	<b>73</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise de Componentes Principais (PCA) .....</b>	<b>87</b>
<b>4.3.1</b>	<b><i>Validação estatística para uso do PCA .....</i></b>	<b>89</b>
<b>4.3.2</b>	<b><i>Matriz de correlação .....</i></b>	<b>90</b>
<b>4.3.2.1</b>	<b><i>Matriz de correlação da quantidade de estudantes aprovados em relação aos anos .....</i></b>	<b>90</b>
<b>4.3.2.2</b>	<b><i>Matriz de correlação da quantidade de estudantes aprovados em relação às disciplinas .....</i></b>	<b>92</b>
<b>4.3.3</b>	<b><i>Seleção de componentes principais .....</i></b>	<b>95</b>
<b>4.4</b>	<b>Análise do acoplamento de matrizes (CMF) .....</b>	<b>103</b>
<b>4.4.1</b>	<b><i>Analizando os anos .....</i></b>	<b>104</b>
<b>4.4.2</b>	<b><i>Analizando as disciplinas .....</i></b>	<b>106</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ensino formal de Engenharia inicia com a criação da *École Nationale des Ponts et Chaussées* em 1747, na França, a qual é considerada a primeira instituição de ensino de Engenharia no mundo (Macedo; Sapunaru, 2016). É importante ressaltar que o ensino de Engenharia evoluiu ao longo do tempo, integrando conhecimentos empíricos com bases científicas da mecânica (Piqueira, 2014). Outras escolas civis começaram a surgir em toda a Europa, como a *École des Mines* em 1778 e o *Conservatoire des Arts et Métiers* em 1794 (Martins, 2021).

De acordo com o Dicionário da Administração Pública Brasileira do Período Colonial, o ensino formal de Engenharia no Brasil iniciou em 1810 com a criação da Real Academia Militar, cuja missão foi formar oficiais de artilharia e Engenharia, bem como oficiais engenheiros geógrafos e topógrafos, habilitados “aos estudos militares e práticos que formam a ciência militar”, capazes de dirigir trabalhos “de minas, de caminhos, portos, canais, pontes, fontes e calçadas” (Brasil, 2011).

O primeiro curso de Engenharia do Ceará, em 1955, surge a partir da criação da Faculdade de Engenharia do Ceará (Brasil, 1955). Posteriormente, a Faculdade de Engenharia do Ceará foi incorporada à Universidade Federal do Ceará no ano de 1955 (Universidade Federal do Ceará, 2024). Por sua vez, o Centro de Tecnologia (CT) foi criado a partir da aglutinação da Escola de Engenharia e da Escola de Arquitetura e Urbanismo no ano de 1973. O Centro de Tecnologia possui no ano de 2024 onze cursos de Engenharia ativos (Universidade Federal do Ceará, 2024a).

Vale destacar a contribuição do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) (Brasil, 2007) para a criação de novos *campi* da UFC no interior do estado do Ceará e para a oferta de cursos de graduação em Engenharia. A partir do REUNI, houve considerável ampliação do acesso ao ensino superior, seja pela ampliação dos *campi* das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) seja pelo crescimento das Instituições de Ensino Superior (IES) privadas (Araújo, 2016).

De acordo com dados do censo da educação superior, realizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), o número de matrículas no ensino superior público e privado saltou de 5,8 milhões em 2008 para 9,4 milhões em 2022 (Brasil, 2009; Inep, 2023).

Contrapondo-se à expansão do acesso ao ensino superior, nos anos recentes verificou-se redução anual do orçamento público destinado ao financiamento das IFES. No caso do grupo de despesas denominado “outras despesas correntes”, que são aquelas destinadas ao custeio e à assistência estudantil das Universidades Federais, houve redução de R\$ 4,2 bilhões entre os anos de 2018 e 2022 (Universidade Federal de São Paulo, 2022).

Por outro lado, segundo o estudo *Education at a Glance* (Panorama da Educação), elaborado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em parceria com o INEP, o gasto anual do governo brasileiro por estudante universitário é de US\$ 14,7 mil, aproximadamente a média dos países da OCDE que é de US\$ 14,8 mil (OCDE, 2023).

Conforme mostra o *Education at a Glance* (OCDE, 2023), o governo brasileiro gasta mais do que Austrália, Canadá, Coréia do Sul e Irlanda. Apesar do alto volume de recursos públicos investidos no estudante universitário, apenas 22% dos jovens brasileiros entre 25 e 34 anos têm diploma de graduação, como resultado de IES com elevados índices de evasão discente e ineficiência nos processos formativos que acarretam a não diplomação desses alunos no tempo previsto nos Projetos Pedagógicos dos Cursos (Andriola, 2003a; 2009a).

As iniciativas de interiorização do ensino superior e o gasto anual por aluno demonstram o empenho do governo brasileiro em garantir formação inicial para os jovens em nível de graduação. Entretanto, os resultados das IFES não estão correspondendo aos investimentos realizados pelo poder público. Sendo assim, é necessário envidar esforços para otimizar o custo-benefício das universidades públicas e fundamentar a tomada de decisões dos gestores acadêmicos com base em evidências científicas, tendo em vista que os problemas enfrentados por essas instituições possuem múltiplas variáveis e dimensões.

Nesse sentido, pesquisas recentes na área da Educação têm explorado a multidimensionalidade da evasão no ensino superior e sua associação aos baixos índices de diplomação do alunado (Santos Junior; Real, 2020; Cunha *et al.*, 2023; Ferrazza *et al.*, 2023), com algumas debruçando-se sobre as nefastas consequências entre os alunos cotistas (Andriola; Araújo, 2023). Santos Junior e Real (2020) constataram que as reprovações nas disciplinas do primeiro ano nos cursos são fatores determinantes para a evasão, podendo indicar diversas dificuldades na transição da educação básica para o ensino superior.

Andriola e Araújo (2021) e Ferrazza *et al.* (2023) identificaram que a falta de integração social e o baixo engajamento acadêmico são fatores que contribuem para a decisão do estudante de graduação abandonar o curso. Cunha *et al.* (2023) apontaram a insuficiência da assistência estudantil como importante fator associado à intencionalidade de evasão,

especialmente entre aqueles estudantes que se encontram em vulnerabilidade social.

Além disso, Cunha *et al.* (2023) exploraram a relação dos seguintes aspectos com a intenção do estudante abandonar o curso: metodologia de ensino, forma de avaliação e estrutura curricular. Segundo estes autores, a aplicação de metodologias tradicionais centradas no professor inibe o protagonismo estudantil e gera desinteresse.

Ademais, os estudantes participantes da enquete relataram que, embora alguns docentes utilizassem metodologias ativas em sala de aula, continuavam adotando práticas avaliativas tradicionais, o que parece influenciar a intencionalidade de evasão. Por fim, o distanciamento da matriz curricular das novas demandas da sociedade faz com que os estudantes se sintam despreparados para o mundo do trabalho (Rocha; Lima; Andriola, 2020; Nunes, *et al.*, 2017; Cunha *et al.*, 2023).

É importante salientar os desafios que a gestão acadêmica terá que enfrentar para formar futuros engenheiros para atuar no mundo do trabalho marcado pela Indústria 4.0 e pela globalização da economia. Os cursos de graduação em engenharia precisam integrar as competências técnicas e as *soft skills* ou competências socioemocionais, conforme orientação das novas Diretrizes Curriculares Nacionais das Engenharias (Brasil, 2019a).

Aravena-Reyes (2021) analisa as Diretrizes Curriculares Nacionais (Brasil, 2019a) e pontua as principais mudanças em relação às diretrizes anteriores: currículo orientado por competências; previsão de metodologias ativas; políticas institucionais inovadoras; gestão do processo de aprendizagem; relações com organizações; valorização do corpo docente; tempo de integralização; preparação para o empreendedorismo e a constante inovação.

Nesse sentido, o curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFC em Fortaleza, assim como outros cursos de Engenharia, enfrenta desafios significativos relacionados à retenção e evasão de estudantes. A elevada complexidade individual das disciplinas e os modelos acadêmicos implantados apresentam potencial para contribuir para as dificuldades na progressão dos alunos ao longo do curso (Silva *et al.*, 2012).

Para além dos problemas de insucesso, retenção e evasão, a gestão acadêmica do Centro de Tecnologia da UFC precisa se preocupar com a reformulação dos Projetos Pedagógicos dos Cursos de Engenharia para se adequar às DCN/2019 e formar profissionais capazes de atuar no mundo do trabalho com visão sistêmica e aplicar os conhecimentos técnico-científicos à realidade prática.

Sendo assim, esta tese preocupou-se em compreender os fatores que influenciam a evasão e a retenção no curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza, visando sugerir estratégias para melhorar a formação dos

engenheiros e ampliar o número de estudantes concludentes.

O curso de graduação em Engenharia Elétrica em Fortaleza foi selecionado como alvo desta tese por ser um dos primeiros cursos de Engenharia da UFC e apresentar importantes taxas de insucesso nos indicadores de desempenho associados à diplomação, conforme indicam resultados de pesquisa sobre a eficiência de cursos de graduação (Cavalcante; Andriola, 2012).

Considerando os desafios enfrentados pelo curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFC em Fortaleza, buscou-se através desta tese encontrar resultados que fundamentem uma tomada de decisão por parte da gestão superior da Universidade.

Tendo em vista que a retenção e a evasão acadêmica são fenômenos multifacetados que afetam não apenas o desenvolvimento individual dos estudantes, mas também têm implicações para as instituições de ensino superior, os pesquisadores educacionais podem empregar abordagens qualitativas, quantitativas e mistas para investigar não só o currículo como outras nuances do contexto educacional (Andriola; Andriola; Moura, 2006).

Apesar de alguns pesquisadores educacionais discordarem da aplicação de modelos estatísticos no estudo do processo educacional, as avaliações em larga escala não só provam que eles são úteis, como também mostram como considerar as análises dos dados coletados para orientar as políticas públicas em educação em todo o mundo (Silva; Mota, 2020). Desse modo, a Educometria é útil para avaliar tanto os resultados da aprendizagem dos alunos como o desempenho dos gestores acadêmicos, pois se configura como campo de pesquisa científica que utiliza modelos matemáticos e estatísticos para analisar os contextos e resultados da aprendizagem como um sistema integrado.

Diante do exposto, esta pesquisa buscou examinar a situação do curso de graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza por meio de técnicas como (1) análise dos dados com base na estatística descritiva a partir da criação de um indicador de insucesso da aprendizagem; (2) análise de componentes principais (PCA) e (3) acoplamento de matrizes, partindo da seguinte pergunta norteadora: Qual a relação entre a estrutura curricular do curso e a taxa de sucesso dos seus estudantes?

Dentre as hipóteses levantadas, destacam-se (1) a influência negativa da oferta temporal das disciplinas no rendimento do estudante de graduação e (2) a organização das disciplinas pré-requisito que apresentam potencial de atrasar a progressão dos estudantes para os semestres subsequentes em caso de reprovação, incrementando, consequentemente, a probabilidade de atraso na diplomação e até mesmo a evasão deste alunado.

Vale salientar que a UFC considera como componentes curriculares as disciplinas, os módulos e as atividades. Entretanto, esta tese analisou apenas as disciplinas da estrutura

curricular do curso de graduação em Engenharia Elétrica em Fortaleza.

Assim, o objetivo geral desta tese consistiu em explorar a estrutura curricular do curso de graduação em Engenharia Elétrica do CT da UFC em Fortaleza para identificar as causas subjacentes à retenção e à evasão dos seus estudantes, considerando o lapso temporal de 2015 a 2022.

Os objetivos específicos foram:

- Objetivo específico 1: Criar um indicador para identificar as disciplinas que apresentam maior insucesso.
- Objetivo específico 2: Mapear com um grafo as disciplinas obrigatórias e sua relação com as disciplinas pré-requisitos;
- Objetivo específico 3: Verificar como a relação entre as disciplinas pré-requisitos impacta no percurso acadêmico do estudante do curso de graduação em Engenharia Elétrica do CT da UFC;
- Objetivo específico 4: Examinar o impacto das disciplinas no sucesso do alunado ao longo de seu percurso acadêmico com base em técnicas da Educometria.

Esta tese está organizada em cinco capítulos. Após a introdução, o segundo capítulo apresenta o quadro teórico de referência, contemplando a Avaliação Educacional, a Educometria e a formação de engenheiros no Brasil. O terceiro capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados e as técnicas empregadas na coleta e análise dos dados. O quarto capítulo discute os resultados encontrados. O último capítulo apresenta as considerações finais, destacando as contribuições da tese para a compreensão da dinâmica educacional no curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFC em Fortaleza, bem como sugere lacunas para estudos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O quadro teórico adotado nesta tese reflete o empenho no estudo das causas subjacentes à retenção e à evasão no curso de graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará em Fortaleza. Para tanto, esta tese ancorou-se na concepção de Avaliação Educacional como atividade científica na perspectiva de Ralph W. Tyler.

Em um segundo momento, buscou-se compreender a contribuição da Educometria, mediante aplicação de modelos matemáticos e estatísticos, no estudo do processo de ensino e aprendizagem, que abrange múltiplas variáveis e acontece de modo integrado ao contexto sócio-histórico no qual está inserido.

Por conseguinte, a revisão sistemática da literatura propiciou um panorama sobre a formação de engenheiros no Brasil, contemplando o fenômeno da evasão, a necessidade de relacionar teoria e prática, as competências para a Indústria 4.0, a lacuna na formação pedagógica dos engenheiros-professores, assim como os desafios que os futuros engenheiros terão que enfrentar ao ingressar no mundo do trabalho.

### 2.1 Avaliação educacional

A Avaliação Educacional é um campo de estudo relevante na área da Educação, pois se ocupa em analisar não apenas o desempenho dos estudantes frente aos objetivos de ensino e aprendizagem, mas também a performance das instituições e sistemas de ensino. Sendo assim, apesar do rendimento dos estudantes ser o principal objeto de estudo da Avaliação Educacional, é preciso considerar os múltiplos fatores envolvidos no desempenho acadêmico, como por exemplo, os problemas de integração entre os níveis de ensino; as práticas pedagógicas; o currículo; a qualidade do ensino oferecido; a eficiência da gestão educacional, entre outros.

Segundo Vianna (2014), a Avaliação Educacional como uma atividade científica é atribuída ao pesquisador Ralph W. Tyler na década de 1940, tendo avançado rapidamente na década de 1960 a partir da contribuição dos pesquisadores Cronbach, M. Scriven, R. Stake e D. Stufflebeam. Ralph W. Tyler se tornou referência no campo da Avaliação Educacional graças aos seus trabalhos pioneiros sobre teoria, construção e implementação de currículos educacionais, destacando a função social destes (Tyler, 1949). Tyler concebia o currículo como “um conjunto de experiências educacionais diversificadas que deveriam ser planejadas de forma a levar os alunos à concretização de determinados objetivos” (Vianna, 2014, p. 18).

Para Tyler, o objetivo da Avaliação Educacional seria subsidiar os professores no aperfeiçoamento das estruturas curriculares e no desenvolvimento de técnicas para mensurar a coerência entre o currículo e as capacidades desenvolvidas pelos estudantes. O pesquisador influenciou a criação e a implementação de testes padronizados na América do Norte no contexto posterior à Segunda Guerra Mundial e durante a Guerra Fria.

Vale destacar que a Avaliação Educacional foi amplamente empregada para fundamentar as decisões governamentais no que diz respeito à formulação e ao fomento de políticas públicas para a educação americana após o término da Segunda Guerra Mundial. Vianna (2014) afirma que é nesse mesmo período que surge a figura do avaliador como profissional especializado e a criação de instituições de referência na elaboração de testes padronizados como o *Educational Testing Service (ETS)*<sup>1</sup>.

Com a aprovação do *Elementary and Secondary Education Act* (Lei do Ensino Fundamental e Médio – *ESEA* – sigla em inglês) em 1965, a Avaliação Educacional ganha notória relevância, pois a partir desse momento todos os programas educacionais financiados pelo governo americano seriam obrigatoriamente avaliados. A partir de então, foi necessário lançar mão da avaliação científica para analisar o currículo, controlar a qualidade do ensino e fundamentar a tomada de decisão sobre os investimentos em educação (Vianna, 2014).

Para Vianna (2014), a aprovação do *ESEA* impulsionou o aprimoramento da Avaliação Educacional, pois permitiu identificar que certos métodos e instrumentos eram inadequados para avaliar o alcance dos objetivos educacionais. Ademais, os sucessivos êxitos e fracassos na avaliação de programas e sistemas de ensino propiciaram a definição de diretrizes para a avaliação educacional pelo *Joint Committee on Standards for Educational Evaluation* (Comitê Misto sobre Diretrizes para a Avaliação Educacional).

Apesar da grande quantidade de dados coletados, poucas informações foram utilizadas para solucionar os problemas educacionais norte-americanos, o que suscitou posicionamentos críticos de alguns avaliadores educacionais, dentre os quais Lee Joseph Cronbach, Michael Scriven e Robert Stake, dentre outros, os quais advertiram ser inadequado avaliar a eficiência do currículo após a sua implementação, desconsiderando muitos outros elementos relevantes da realidade educacional (Mohan, 2016).

Embora os norte-americanos tenham uma tradição de avaliação de quase dois séculos, é somente no início do século XX que a Avaliação Educacional se inscreve como área

---

<sup>1</sup> A *Educational Testing Service (ETS)* é uma organização privada de avaliações e testes educacionais. link: <https://www.ets.org/about.html>.

científica a partir de conceitos como *testing* (avaliação como medida) e *survey* (tipo de pesquisa quantitativa) (Vianna, 2014).

Ante o exposto, a avaliação científica se tornou fundamental na verificação do rendimento escolar, inclusive com emprego da linguagem matemática e de procedimentos estatísticos avançados (Andriola, 2009a). Trata-se, portanto, de uma atividade científica que utiliza a exploração, a investigação e a análise de dados educacionais, de modo a apresentar um recurso útil para os gestores das instituições de ensino tomarem decisões diante de dificuldades ou problemas existentes (Oliveira; Andriola, 2006; Vasconcelos, 2015).

No Brasil, a avaliação científica se torna ainda mais necessária, pois os recursos financeiros destinados à educação são muito disputados, uma vez que o país é continental e seu complexo sistema educacional é constituído por diferentes níveis e modalidades de ensino (Brasil, 1996). Sem a avaliação científica, os escassos recursos financeiros para a educação podem ser desperdiçados ou até mesmo direcionados para atender às agendas neoliberais do Mercado financeiro.

Em relação ao Educação Superior brasileira, a Avaliação Educacional cumpre importante papel na regulação dos cursos, no credenciamento de Instituições de Ensino Superior (IES) e no controle de qualidade do ensino. Para tanto, o Estado brasileiro dispõe do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES) que avalia as instituições, os cursos e o desempenho dos estudantes (Brasil, 2004).

O SINAES conta com indicadores para medir a qualidade do ensino, como o Conceito Preliminar de Curso (CPC), o Índice Geral de Cursos Avaliados da Instituição (IGC) e os resultados do Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE), conforme previsto na Lei nº 10.861, de 14 de abril de 2004 (Brasil, 2004).

Ademais, o SINAES propõe a avaliação institucional como cultura de emancipação e melhoria da qualidade do ensino, assim como subsídio para os processos de autorização, credenciamento, recredenciamento, e descredenciamento de cursos e instituições de Ensino Superior pelo Ministério da Educação. A metodologia do SINAES “se subdivide em três macro-procedimentos: Avaliação Institucional (interna e externa), Avaliação dos Cursos de Graduação (ACG) e Exame Nacional de Avaliação do Desempenho dos Estudantes (ENADE)” (Andriola, 2008, p. 140). Para tanto, cada IES precisou constituir uma Comissão Própria de Avaliação (CPA), composta por representantes de toda a comunidade acadêmica, com o objetivo de planejar, executar, impulsionar e consolidar a atividade de avaliação institucional e de cursos (Andriola, 2012).

A Universidade Federal do Ceará (2024c) dispõe da CPA cujas ações são realizadas a partir de dados quantitativos e qualitativos obtidos em pesquisas documentais, de campo e nos indicadores internos e externos, monitorados pela UFC. A CPA é composta por discentes, docentes e técnicos administrativos, os quais são os agentes internos da universidade engajados nas atividades finalísticas (o ensino, a pesquisa e a extensão) e nas atividades meio, que incluem dentre outras:

- a) a gestão administrativa e de pessoal;
- b) o planejamento estratégico institucional;
- c) a sustentabilidade financeira;
- d) as políticas internas voltadas ao combate à evasão discente;
- e) a adequação das bibliotecas, dos laboratórios e das salas de aula.

Vale destacar a continuidade do “Provão”, que apesar da nova concepção, passando a chamar-se Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE), manteve a avaliação classificatória conforme ocorria com o Exame Nacional de Cursos (ENC), o qual teve papel de destaque na avaliação da Educação Superior, pois tornou o governo apto a regular o sistema de Ensino Superior mediante a elaboração de rankings para definir os melhores cursos e IFES, e exigir destas últimas a melhoria da eficiência, sob pena de descredenciamento (Lavor; Andriola; Lima, 2016).

Como mecanismo para acompanhar a eficiência da gestão das instituições de ensino superior, o Tribunal de Contas da União fixou, por meio da Decisão nº 408/2002 –TCU - Plenário (Brasil, 2002), indicadores de desempenho que devem constar nos relatórios de gestão das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES). Dentre os indicadores de gestão fixados pelo TCU, destaca-se a Taxa de Sucesso na Graduação (TSG) que é calculada pela razão entre o número de estudantes diplomados e o número de estudantes ingressantes, considerando ainda o ano que o aluno ingressou e o tempo de permanência estabelecido pela Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SESu/MEC) para cada curso (Silva *et al.*, 2018).

Silva *et al.* (2018) destacam que os recursos públicos para financiar a Educação Superior estão gradativamente diminuindo enquanto as expectativas da sociedade em relação às IFES estão aumentando. Por conta dessa situação, as IFES estão tendo que fazer mais com menos recursos, ou seja, a escassez de recursos está exigindo que as IFES apresentem maior índice de eficiência.

Sendo assim, as IFES precisam sistematicamente controlar o orçamento enviado pelo MEC, acompanhar os resultados alcançados pela instituição e compará-los com os resultados das outras IFES. Além disso, todo esse controle precisa ser disponibilizado à

sociedade. Para contribuir no processo de melhoria da eficiência e da economicidade das IFES, o TCU encoraja as instituições a criarem indicadores que reflitam com precisão o desempenho das atividades acadêmicas (Brasil, 2002).

Tanto as exigências do TCU como as demandas da sociedade trazem a necessidade de as IFES desenvolverem indicadores e sistemas que possibilitem *accountability* (prestação de contas e transparência). Para tanto, a abordagem quantitativa auxilia a equipe técnica a criar banco de dados e *dashboards* (painéis estratégicos), os quais podem subsidiar o acompanhamento sistemático das metas e auxiliar os gestores na tomada de decisão (Universidade Federal do Ceará, 2024b).

Em que pese a discordância de alguns pesquisadores da Educação sobre a aplicação de modelos matemáticos e estatísticos nas pesquisas de Avaliação Educacional, as avaliações em larga escala constatam sua utilidade e mostram como a análise dos dados pode auxiliar na construção de indicadores que podem subsidiar a tomada de decisão no âmbito das políticas públicas em educação em todo o mundo (Silva; Mota, 2020).

Além disso, a abordagem de Tyler possui limitações, pois não adota modelos matemáticos e estatísticos, que conseguem extrair informações implícitas dos dados numéricos. Tendo em vista essa limitação, a Educometria vem contribuir com a aplicação de modelos matemáticos mais sofisticados para auxiliar na avaliação científica dos resultados do processo de ensino e aprendizagem, assim como na avaliação institucional das instituições de Educação Básica e Ensino Superior.

Na continuidade desta tese, a próxima seção apresenta a área da Educometria e aponta suas contribuições para o aperfeiçoamento da Avaliação Educacional mediante a aplicação de modelos matemáticos e estatísticos na análise dos resultados da aprendizagem e na avaliação do desempenho institucional.

## 2.2 Educometria

Desde o início do século XX pesquisadores das Ciências Humanas e Sociais Aplicadas têm conduzido estudos com ferramentas psicométricas, originárias da Psicologia, para analisar aspectos envolvidos na capacidade de *problem solving* (resolução de problemas), nos processos cognitivos superiores (linguagem falada e escrita), nos processos cognitivos executivos (raciocínio e inteligência), além de processos associados ao desenvolvimento e à consolidação da personalidade humana, empregando, para tal, procedimentos de coleta assistida de dados e, desde os anos 1960, técnicas e métodos baseados na computação (Andriola, 1996ab, 1997, 2003b).

Como desdobramento dessas pesquisas, a Avaliação Científica da Educação representada pela Educometria emergiu como uma disciplina para tratar dados oriundos do processo de ensino e aprendizagem ao empregar modelos estatísticos multivariados (Silva, 2017a). Similarmente a outras métricas, especialmente a psicométrica, a Educometria configura-se como um campo promissor para investigações científicas, já apresentando aplicações e resultados significativos em contextos educacionais (Nunes *et al.*, 2015ab; Vasconcelos; Silva; Mota, 2015b).

Silva e Mota (2020) destacam a aplicação da Educometria na análise das notas obtidas pelos estudantes em avaliações escolares. Os autores ressaltam que, considerando que essas notas refletem informações sobre o conhecimento adquirido pelos estudantes em determinada disciplina, seus professores podem extraír dados relevantes sobre as competências e habilidades desenvolvidas pelos estudantes. Além disso, modelos estatísticos como as decomposições matricial e tensorial revelam-se como ferramentas úteis na análise das relações intrínsecas das variáveis educacionais investigadas (Silva; Mota, 2020; Hippólyto; Andriola; Nunes, 2023).

É pertinente mencionar a reflexão do professor Jan de Leeuw sobre a constituição da Educometria como uma área do conhecimento que desenvolve ferramentas e técnicas específicas para a análise de dados empíricos coletados em pesquisas educacionais (Silva; Mota, 2020). De acordo com Leeuw:

Se Foo é uma ciência, então Foo geralmente tem uma área Foometria e uma área Foo Matemática. A Foo Matemática aplica a modelagem matemática à área de estudo da Foo, enquanto a Foometria desenvolve e estuda técnicas para a análise de dados empíricos coletados na Foo. Cada uma das ciências sociais e comportamentais tem uma forma de Foometria, embora nem todas usem um nome dessa família (Leeuw, 2006 *apud* Silva; Mota, 2020, p. 3, tradução nossa<sup>2</sup>).

Dentro dessa perspectiva, a Educometria direciona seu foco para o estudo científico de qualquer fenômeno interrelacional e mensurável que envolva o ensino, a aprendizagem e o contexto educacional, considerando esses elementos como partes integrantes de um processo global.

Diante do exposto, a Educometria contribui para o estudo dos fenômenos do insucesso, retenção e evasão no curso de graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza ao permitir o mapeamento das disciplinas que apresentam taxas elevadas de reprovação, o contraste entre os cursos de Engenharia do CT e a identificação dos percursos acadêmicos que o estudante precisa percorrer para se formar.

Vale salientar que a Educometria complementa as pesquisas qualitativas sobre Avaliação Educacional, as quais permitem acompanhar as soluções propostas para enfrentar a reprovação, retenção e evasão, assim como a atualização sobre as novas tendências em práticas pedagógicas inovadoras e no mundo do trabalho. Tendo em vista a relevância das pesquisas qualitativas para o estudo científico dos fenômenos educacionais, será apresentada, na sequência, uma revisão sistemática de literatura sobre a formação de engenheiros no Brasil e os desafios que a profissão vem enfrentando no mundo do trabalho.

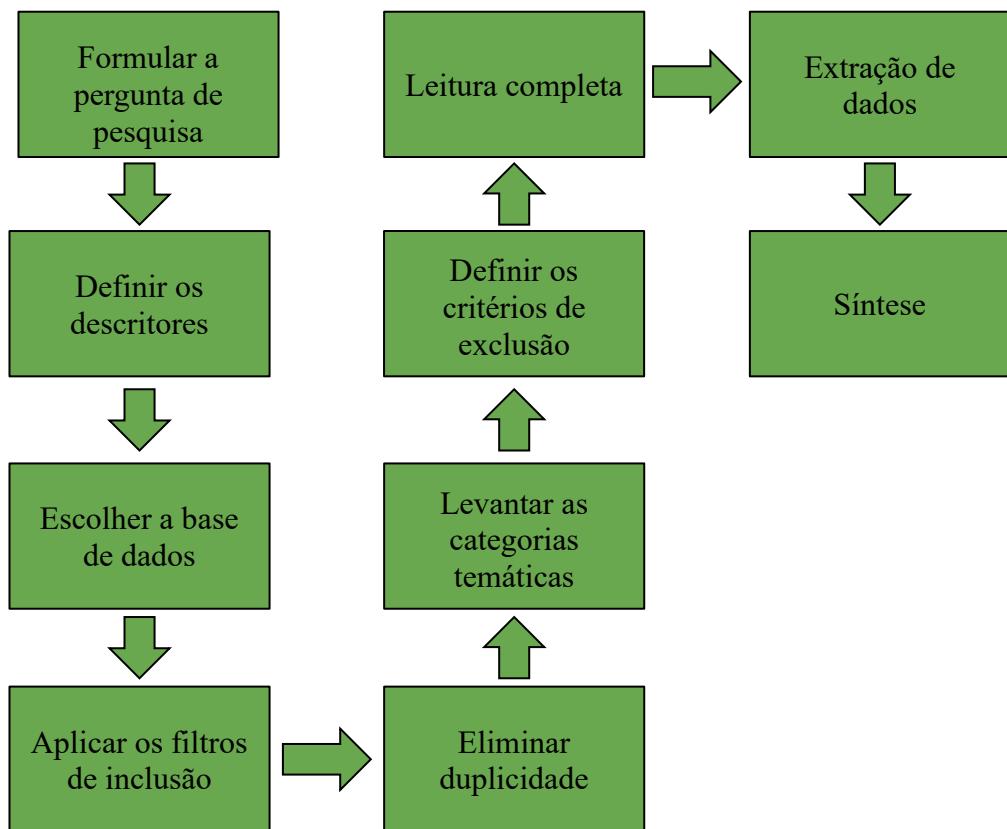
---

<sup>2</sup> If Foo is a science then Foo often has both an area Foometrics and an area Mathematical Foo. Mathematical Foo applies mathematical modeling to the Foo subject area, while Foometrics develops and studies data analysis techniques for empirical data collected in Foo. Each of the social and behavioural sciences has a form of Foometrics, although they may not all use a name in this family.

### 2.3 A formação de engenheiros no Brasil

A fim de compreender a situação atual da formação de engenheiros no Brasil, foi realizada nos meses de outubro e novembro de 2024 revisão sistemática da literatura, com base no modelo de Biolchini *et al.* (2005) cuja representação pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 - Etapas da revisão sistemática da literatura



Fonte: Autor (2024).

A revisão sistemática da literatura teve o objetivo de responder a seguinte pergunta: Qual a situação atual da formação de engenheiros no Brasil? A base de dados selecionada foi o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), utilizando os descritores “formação” AND “engenheiro”, selecionando os seguintes filtros: artigos, acesso aberto, revisado por pares, no lapso temporal 2020 a 2024, produção nacional no idioma português. Após a aplicação dos filtros, foram encontrados 46 resultados, os quais são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Busca por “formação” AND “engenheiro” no Portal de Periódicos CAPES

Ano	Título	Autores	Palavras-chave	DOI	Estrato do Qualis Periódicos <sup>3</sup>
2021	Projeto de extensão: uso eficiente de energia na UFERSA e a formação do aluno de engenharia elétrica	Neemias Dantas Fernandes, Antonio Anderson Pereira dos Santos, Keliany Da Silva Lima, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, Amanda Dylana Dantas Cavalcante, Yago Da Silva Pires Rocha	Extensão. Eficiência energética. Conservação de energia. Uso racional de energia.	<a href="https://doi.org/10.23901/1679-4605.2021v17p2-0-30">https://doi.org/10.23901/1679-4605.2021v17p2-0-30</a>	A4
2020	A lógica de mercado e o mundo do trabalho na formação de engenheiros	Antônia Costa Andrade, Lindisay Giany Moreira, Maria do Socorro Simith Neves	Engenharias. Mercado. Universidade.	<a href="https://doi.org/10.22481/praxedu.v16i41.7261">https://doi.org/10.22481/praxedu.v16i41.7261</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2023	Aprendizagem Baseada em Projetos na formação de engenheiros: estudo de caso sobre uma experiência curricular	Renata dos Santos	Metodologias Ativas. Educação em Engenharia. Aprendizagem Baseada em Projetos.	<a href="https://doi.org/10.18675/1981-8106.v34.n.67.s1.6771">https://doi.org/10.18675/1981-8106.v34.n.67.s1.6771</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2020	Metodologia ativa na formação se engenheiros e as relações com Ciência e a Tecnologia e a Sociedade	Benerina Porfirio Branco, Adilson da Silva Mello	Educação. Ensino. Tecnologias. Metodologias ativas. CTS.	<a href="https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2929">https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2929</a>	C
2021	Rumo a uma formação social do engenheiro: crítica às novas	José Aravena-Reyes	DCN. Indústria 4.0. Formação Social.	<a href="https://doi.org/10.35699/2238-037X.2021.21992">https://doi.org/10.35699/2238-037X.2021.21992</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV

<sup>3</sup> Classificação de periódicos da área de Engenharias IV no Quadriênio 2017-2020.

	diretrizes curriculares de Engenharia				
2021	Preditores de Barreiras à Criatividade de Estudantes de Engenharia	Camila de Sousa Pereira-Guizzo, Marcus Vinicius Mendes Gomes, Tarso Barretto Rodrigues Nogueira, Sheila Giardini Murta	Criatividade. Ensino superior. Educação em engenharia.	<a href="https://doi.org/10.12957/epp.2021.62708">https://doi.org/10.12957/epp.2021.62708</a>	A2
2023	O podcast “ENGENHARIA DE QUÊ?”: Reflexões possíveis sobre o uso das Tecnologias de Informação para a formação profissional do Engenheiro	Marta Scalcon dos Santos de Lima, Adriana Eufrásio Braga, Danilo Alves Barroso	Formação em Engenharia. Tecnologias de Informação. Didática no Ensino Superior.	<a href="https://doi.org/10.24065/re.v13i1.2516">https://doi.org/10.24065/re.v13i1.2516</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Sala de Aula Invertida: Cenários Atuais na Formação de Engenheiros	Caroline Subirá Pereira, Cristiane de Fátima Budek Dias, Marcos Mincov Tenório, Guataçara dos Santos	Sala de aula invertida. Ensino superior. Formação de Engenheiros. Metodologias de ensino.	<a href="https://doi.org/10.5752/P.2316-9451.2021v9n1p43-59">https://doi.org/10.5752/P.2316-9451.2021v9n1p43-59</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2023	O papel da contextualização em química no curso de formação de engenheiros mecânicos: uma análise do monitor	Rafael Rocha Teixeira, Rosilene Ventura de Souza, Luiza Renata Félix de Carvalho Lima	Contextualização Ensino de química geral. Engenharia mecânica.	<a href="https://doi.org/10.22481/reed.v4i1.1.14038">https://doi.org/10.22481/reed.v4i1.1.14038</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2022	A Importância de Empresas Juniores na Formação do Engenheiro Químico: Elo Entre Teoria e Prática	Leticia Mara da Hora Pereira, Rodrigo Rando de Freitas	Engenharia Química. Empresa Júnior. Vivência Empresarial. Formação Profissional.	<a href="http://dx.doi.org/10.12819/2022.19.2.7">http://dx.doi.org/10.12819/2022.19.2.7</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2020	Estudo da formação de	Monnike Yasmin	Formação docente.	<a href="https://doi.org/10.15628/rbept.202">https://doi.org/10.15628/rbept.202</a>	Sem Qualis nas

	engenheiros ingressantes na carreira docente nos institutos federais do Brasil	Rodrigues do Vale, Monnike Yasmin Rodrigues do Vale, Jussara Santos Pimenta	Engenharia. Institutos Federais.	<a href="https://doi.org/10.11635">0.11635</a>	Engenharias IV
2023	O engenheiro e sua constituição como docente: estado da arte em pesquisas brasileiras	Debora Meyhofer Ferreira, Adair Mendes Nacarato	Docência. Engenharia. Formação de professores. Ensino superior. Saberes do docente.	<a href="https://doi.org/10.20396/riesup.v1i100.8666909">https://doi.org/10.20396/riesup.v1i100.8666909</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2022	Cruzando os caminhos da Educação Tecnológica com a equação civilizatória	Walter Antônio Bazzo, Ana Cláudia Ribeiro de Souza	Educação. Ensino Tecnológico. Equação civilizatória. Dignidade humana.	<a href="https://doi.org/10.31417/educitec.v8.1981">https://doi.org/10.31417/educitec.v8.1981</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Cenário da publicação científica sobre a Indústria 4.0 no Brasil: Uma revisão bibliométrica	André Henrique Ivale, Mário César da Silva, Irenilza de Alencar Nääs	Revolução industrial. Revolução 4.0. Indústria 4.0 no Brasil.	<a href="http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.13838">http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.13838</a>	C
2020	Formando engenheiros em um laboratório de usinagem: conhecimento, gênero e gambiarra	Daniel Guerrini, Amanda Yuri Nishiyama de Alencar, Lucas Pinheiro Santos	Engenharia. Formação profissional. Sociologia. Relações de gênero.	<a href="https://doi.org/10.1590/198053147066">https://doi.org/10.1590/198053147066</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	O uso das metodologias ativas nos cursos de engenharia no Brasil a partir de teses e dissertações	Ederson Carlos Gomes, Michel Corci Batista, Polônia Altoé Fusinato	Metodologias ativas. Ensino de Engenharia. Ensino e aprendizagem.	<a href="https://doi.org/10.22408/revav602021824471-483">https://doi.org/10.22408/revav602021824471-483</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2020	Médicos e engenheiros no Recife oitocentista: Higienismo, Implantação de Projetos Arquitetônicos e de Serviços	Carlos Alberto Cunha Miranda	Saúde pública. Higienistas. Engenheiros. Edificações. Serviços urbanos.	<a href="https://doi.org/10.22264/clio.issn2525-5649.2020.38.2.11">https://doi.org/10.22264/clio.issn2525-5649.2020.38.2.11</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV

	Urbanos				
2020	A manufatura avançada precisa de uma engenharia avançada	Filipe Wiltgen	Manufatura avançada. Engenharia avançada. Engenheiros. Graduação. Ensino.	<a href="https://doi.org/10.5020/23180730.09914">https://doi.org/10.5020/23180730.09914</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2022	O ensino nos cursos superiores de engenharias: concepções, perspectivas e desafios	Hélio Loiola dos Santos Júnior	Engenharias. Concepção de ensino. Demandas mercadológicas.	<a href="https://doi.org/10.18764/2358-4319v15n2.2022.16">https://doi.org/10.18764/2358-4319v15n2.2022.16</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Concepções de professores de física e engenharia quanto à formação de conceitos científicos	Sandro Roberto Cossetin, Marli Dallagnol Frison	Atividade de Ensino. Atividade de Estudo. Formação de Conceitos. Racionalidade Técnica.	<a href="https://doi.org/10.36661/2595-4520.2021v4i6.12151">https://doi.org/10.36661/2595-4520.2021v4i6.12151</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2022	Análise de Ranking dos Cursos de Engenharia de Produção Frente à Indústria 4.0	Márcia Terra da Silva, José Geraldo Basante, Luís Antônio Mendes de Mesquita Araújo	Avaliação. Eficácia. Classificação. Brasil.	<a href="http://dx.doi.org/10.12819/2022.19.9.13">http://dx.doi.org/10.12819/2022.19.9.13</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2022	O lugar da linguagem em contexto transdisciplinar de inovações metodológicas na educação superior em engenharia	Otília Lizete de Oliveira Martins Heinig, Thais de Souza Schlichting	Práticas de linguagem. Inovações metodológicas. Práticas transdisciplinares	<a href="https://doi.org/10.2406/2237-9460.2022v12n1ID2019">https://doi.org/10.2406/2237-9460.2022v12n1ID2019</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2022	A Matemática nos primórdios da Escola de Minas de Ouro Preto: uma visão geral	Vinicius Mendes Couto Pereira	Matemática na Escola de Minas de Ouro Preto. História da Matemática no Brasil. Produção Matemática na Escola de Minas.	<a href="https://doi.org/10.30938/bocehm.v9i26.8027">https://doi.org/10.30938/bocehm.v9i26.8027</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV

2021	Gestão de micro e pequenas empresas na Engenharia de Produção: revisão sistemática de literatura	Thairone Ezequiel de Almeida, Isabela Carvalho de Moraes, Luciana Paula Reis	Educação em Engenharia de Produção. Diretrizes curriculares dos cursos de engenharia. Projeto pedagógico do curso. Especificidades das micro e pequenas empresas. Gestão de micro e pequenas empresas.	<a href="https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21274">https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21274</a>	C
2020	A Percepção dos Docentes de Disciplinas Contábeis Acerca do Ensino de Contabilidade para Discentes do Curso de Engenharia de Produção	Thiago Cunha de Oliveira, Rosana Pinho Galiza, Fabiano Rosa Lamoglia, Márcia da Silva Carvalho	Interdisciplinaridade. Contabilidade. Ensino Contábil. Engenharia de Produção.	<a href="https://doi.org/10.22478/ufpb.2318-1001.2020v8n1.45611">https://doi.org/10.22478/ufpb.2318-1001.2020v8n1.45611</a>	A3
2020	Duas décadas do curso de Engenharia Ambiental na visão dos egressos da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto	Aníbal da Fonseca Santiago, José Francisco do Prado Filho, Lívia Cristina Pinto Dias, Gustavo Silva Magalhaes Gomes, Lívia Bastos de Lima, Ítalo César Rosa Mol, Maria Clara Santos Martins	Ensino de engenharia. Mercado de trabalho. Projeto pedagógico.	<a href="https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5064">https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5064</a>	C
2023	Territorialidade elétrica na formação do espaço urbano no Noroeste paulista (1901-1927)	Sidney Piochi Bernardini, Roberto José D'Alessandro	Urbanização. Eletricidade. Território. CPFL.	<a href="https://doi.org/10.20396/labore.v17i00.8674434">https://doi.org/10.20396/labore.v17i00.8674434</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV

2021	Comportamento pró-ambiental e crenças ambientais na engenharia civil: uma análise de universitários ingressantes e concluintes	Claudio de Souza Rodrigues, Eduardo Chierrito de Arruda, Catherine Menegaldi Silva, Luís Henrique Pires Milani, Ednéia Aparecida de Souza Paccola, Catherine Menegaldi Silva	Sustentabilidade. Construção Civil. Resíduos Sólidos. Comportamento Ambiental. Saúde Ambiental.	<a href="https://doi.org/10.22408/revav502020245e-5003">https://doi.org/10.22408/revav502020245e-5003</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Crenças de professores em relação à inclusão do aluno surdo na universidade	Renata Cristina Vilaça-Cruz, Maria Clara Lôbo Sahium COSTA, Juliana Guimarães FARIA	Crenças. Professores de surdos. Ensino superior. Formação de alunos surdos.	<a href="https://doi.org/10.51913/revelli.v13i0.9278">https://doi.org/10.51913/revelli.v13i0.9278</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Educação e trabalho: A formação escolar e as rupturas nas teorias pedagógicas	Rogério Rodrigues	Educação. Trabalho. Formação escolar. Ensino de Engenharia. Competência técnica.	<a href="https://doi.org/10.15448/2179-8435.2021.1.35526">https://doi.org/10.15448/2179-8435.2021.1.35526</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2020	Microbiopolítica e regulação sanitária: desacordos entre ciência e saberes locais na produção dos queijos minas artesanais	Rosângela Pezza Cintrão, Leonardo Vilaça Dupin	Queijos artesanais. Microbiopolítica. Laboratório. Vigilância sanitária.	<a href="https://doi.org/10.1590/S0104-7183202000020009">https://doi.org/10.1590/S0104-7183202000020009</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Sinalizando a etnografia como estratégia para a compreensão da ação técnica do engenheiro em empresas da Microrregião de Blumenau	Jamille Gabriely Bezerra Rodrigues de Melo, Juliana Teixeira Coelho, Kerolyn Paula Freire Wirmond, Vinícius Henrique dos Santos, Brenda Teresa Porto de Matos, Marilise	Engenharia. Etnografia. Sociotécnica. Estratégias de formação.	<a href="https://doi.org/10.48160/18517072re51.39">https://doi.org/10.48160/18517072re51.39</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV

		Luiza Martins dos Reis Sayão			
2021	Um relato de experiência no canal Bachelard Brasil- Youtube	André Jorge Campello Rodrigues Pereira	-	<a href="https://doi.org/10.24933/horizonte.s.v39i1.1250">https://doi.org/10.24933/horizonte.s.v39i1.1250</a>	A2
2021	Metodologias passivas versus ativas: estudo de campo num curso de graduação em engenharia civil	Rodrigo Rogério Cerqueira da Silva	Metodologia de ensino. Aprendizagem baseada em problemas. Educação tradicional.	<a href="https://doi.org/10.31417/educitec.v7.1367">https://doi.org/10.31417/educitec.v7.1367</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Relação educação-trabalho: um estudo dos egressos de agronomia do IF goiano – campus Morrinhos	Luciana dos Santos Machado Baldoíno	Políticas Públicas. Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia. Educação Superior. Egressos.	<a href="https://doi.org/10.15628/rbept.202.1.11154">https://doi.org/10.15628/rbept.202.1.11154</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Roberto Mange, a criação do Centro Ferroviário de Ensino e Seleção Profissional (CFESP) e a formação para o trabalho nas décadas de 1930 e 1940	Sandra Maria de Assis, Karoline Louise Silva da Costa, Olívia Morais de Medeiros Neta	Roberto Mange. CFESP. Intelectual da educação. Ensino técnico profissional.	<a href="https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21383">https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21383</a>	C
2020	Uma "revolução" dos retirantes: a greve dos operários da Estrada de Ferro de Baturité na seca de 1888	Tyrone Apollo Pontes Cândido	Greve. Retirantes. Estrada de Ferro de Baturité.	<a href="https://doi.org/10.5007/1984-9222.2020.e74739%20%20">https://doi.org/10.5007/1984-9222.2020.e74739%20%20</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Análise da formação humanística, social e inovadora em cursos de Engenharia Civil de Pernambuco	Arlindo Raposo de Mello, Luciano Andreatta Carvalho da Costa	Educação em Engenharia Civil. Inovação na construção civil. Projetos pedagógicos.	<a href="10.31514/rliberato.2021v22n37.p105">10.31514/rliberato.2021v22n37.p105</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV

2023	Competências necessárias ao engenheiro de produção: diferenças e similaridades nas perspectivas de egressos e de gerentes de produção industrial	Adriana Aparecida Dambros da Silva, Adriana Dias Rafaski, Fagno Gonçalves Da Silva	Engenheiro de Produção. Competências. Matriz curricular. Egressos.	<a href="https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i2.4413">https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i2.4413</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2022	Regulamentação Profissional: Formação e prerrogativas de atuação profissional do Administrador frente à NBR 14.653-4 – Avaliação de empreendimentos	Rodrigo Seixas Rosa, Yuri De Souza, Pítias Teodoro, Yuri Vasconcellos da Silva	Regulamentação profissional. Avaliação de empreendimentos. NBR 14.653. Administrador. Engenheiro.	<a href="https://doi.org/10.20401/rasi.8.1.657">https://doi.org/10.20401/rasi.8.1.657</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Gênese da mercantilização da terra urbana no Pará e os planos de expansão da malha urbana para as cidades de Santarém, Macapá e Cametá	Raul da Silva Ventura Neto, Beatriz Mesquita Moura	Planos de Alinhamento. Palma Muniz. Lei de Terras de 1850.	<a href="https://doi.org/10.11606/1984-4506.risco.2021.162300">https://doi.org/10.11606/1984-4506.risco.2021.162300</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2022	Design de joias: proposição de metodologia para ensino voltado ao mercado joalheiro	Mariana Kuhl Cidade, Felipe Luís Palombini	Joalheria. Design. Metodologia. Ensino.	<a href="https://doi.org/10.23972/det2022is.s24pp57-72">https://doi.org/10.23972/det2022is.s24pp57-72</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2022	Um perfil dos professores de Matemática da Escola Normal do Pará (1890 – 1920)	Marcos Fabrício Ferreira Pereira, Iran Abreu Mendes, Roberto Moia	História da Educação Matemática. Escola Normal do Pará. Professores de Matemática.	<a href="https://doi.org/10.30938/bocehm.v9i26.8020">https://doi.org/10.30938/bocehm.v9i26.8020</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2021	Ciência, Tecnologia e	Henrique Cesar Estevan	Ciência-Tecnologia-	<a href="https://doi.org/10.22408/rev6020">https://doi.org/10.22408/rev6020</a>	Sem Qualis nas

	Sociedade: uma análise a partir das concepções sobre física de futuros engenheiros ambientais	Ballesteros, Ana Lúcia Pereira	Sociedade. Engenharia Ambiental. Física.	<a href="https://doi.org/10.21943835-847">21943835-847</a>	Engenharias IV
2023	Avaliação da percepção dos componentes curriculares universais de empreendedorismo de discentes de um curso de Engenharia de Produção de uma universidade privada da Cidade de São Paulo	Maiara Cruz Ferreira dos Santos, Lucas Rocha da Silva, Erick Jooji Yamaguti, Virgínia do Socorro Motta Aguiar, Maria Célia de Oliveira	Empreendedorismo. Engenharia de Produção. Mercado de Trabalho. Habilidades e Competências.	<a href="https://doi.org/10.14488/1676-1901.v22i4.4634">https://doi.org/10.14488/1676-1901.v22i4.4634</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2023	Altamiro Tibiriçá na Escola de Engenharia de São Carlos e o Ensino de Cálculo Vetorial	Davidson Paulo Azevedo Oliveira, Davidson Paulo Azevedo Oliveira, Tatiana de Andrade Aguilar	Altamiro Tibiriçá Dias. Escola de Engenharia de São Carlos. Cálculo Vetorial. História da Educação Matemática.	<a href="https://doi.org/10.37084/REMA.TEC.1980-3141.2023.n43.p.e2023041.id532">10.37084/REMA.TEC.1980-3141.2023.n43.p.e2023041.id532</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV

Fonte: Autor (2024).

Posteriormente, foi realizada nova busca na mesma base de dados, utilizando o descriptor “educação em engenharia”, selecionando os seguintes filtros: artigos, acesso aberto, revisado por pares, no lapso temporal 2020 a 2024, produção nacional no idioma português. Após a aplicação dos filtros, foram encontrados cinco resultados, dentre os quais foi identificado e eliminado um artigo duplicado. Os 4 (quatro) resultados da segunda busca podem ser visualizados no Quadro 2.

Quadro 2: Busca por “educação em engenharia” no Portal de Periódicos CAPES

Ano	Título	Autores	Palavras-chave	DOI	Estrato do Qualis Periódicos
2020	Desafios e avanços educacionais em tempos da COVID-19: a docência no Ensino Remoto em cursos de Engenharia	Luciano Andreatta Carvalho da Costa	Educação a Distância. Tecnologia Educacional. Avaliação da Aprendizagem.	<a href="https://doi.org/10.31417/eduscitec.v6.1529">https://doi.org/10.31417/eduscitec.v6.1529</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2020	Evasão nos cursos de engenharia: um olhar para os trabalhos do COBENGE de 2000 a 2014	Elenilton Vieira Godoy, Eustáquio Almeida	Evasão nos cursos de Engenharia. Ensino Superior. Ensino de Matemática.	<a href="http://dx.doi.org/10.3895/rbect.v13n3.8583">http://dx.doi.org/10.3895/rbect.v13n3.8583</a>	A2
2021	Avaliação da formação em Engenharia Química pela percepção de egressos da UFTM (2014-2019)	Thais Gama Furini, Vinícius Henrique Vivas, Beatriz Gaydeczka, Priscila Pereira Silva	Egressos. Educação em Engenharia. Avaliação. Gestão educacional.	<a href="https://doi.org/10.5902/2318133844235">https://doi.org/10.5902/2318133844235</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV
2023	Resolução de Problemas de Cálculo Diferencial e Integral Contextualizados na Engenharia Civil	Reges Sodré, João Bosco Laudares, Saulo Furletti	Problemas contextualizados. Educação Matemática. Educação em Engenharia. Engenharia Civil. Cálculo diferencial e integral.	<a href="https://doi.org/10.5752/P.2316-9451.2023v11n2p67-90">https://doi.org/10.5752/P.2316-9451.2023v11n2p67-90</a>	Sem Qualis nas Engenharias IV

Fonte: Autor (2024).

Inicialmente, pretendeu-se selecionar os artigos científicos publicados em periódicos classificados nos maiores estratos da área de Engenharias IV. Porém, após análise dos resultados encontrados, verificou-se que os artigos relacionados à formação de engenheiros no Brasil figuravam em periódicos com baixo estrato ou sem Qualis na área de Engenharias IV.

Tal constatação pode ser explicada pela maior aderência das temáticas ensino de graduação e educação em Engenharia às áreas de Educação e Ensino da CAPES. Enquanto a área de Engenharias IV engloba os programas de pós-graduação das subáreas Engenharia Elétrica e Engenharia Biomédica cuja atuação abrange a melhoria de produtos e serviços relacionados, mas não limitados a comunicação, dispositivos eletroeletrônicos, fornecimento de energia e biomedicina (Brasil, 2019b).

Sendo assim, foi necessário priorizar a temática da formação de engenheiros em detrimento da classificação dos periódicos no Qualis da área de Engenharias IV. Tendo como prioridade a formação inicial dos engenheiros em nível de graduação, foi possível levantar categorias temáticas a partir da análise dos títulos e resumos dos artigos científicos recuperados da base de dados do Portal de Periódicos da CAPES. A partir da análise dos títulos e resumos dos artigos científicos foi possível levantar as categorias temáticas, conforme sistematizado no Quadro 3.

Quadro 3: Categorias temáticas

Categoria	Quantidade de artigos relacionados
Educação em engenharia	11
Educação matemática	4
Relação educação e trabalho	3
Estudos com egressos	3
Engenheiro-professor	3
Inclusão no curso de engenharia	1
Indústria 4.0	3
Regulamentação profissional	1
Metodologias ativas de ensino	7
Empreendedorismo	3
Contabilidade para engenharias	1
Ciência, Tecnologia e Sociedade	4
Urbanização	3
Vigilância sanitária	1
Estudos sobre Bachelard	1
Greve de ferroviários	1

Fonte: Autor (2024).

Após a categorização dos artigos científicos, prosseguiu-se com a exclusão das categorias que não abordaram diretamente a formação do engenheiro em nível de graduação, restando para análise a categoria educação em engenharia, somando 11 (onze) artigos.

A partir da leitura dos 11 (onze) artigos científicos na íntegra, foi possível levantar os principais desafios e as iniciativas que estão sendo implementadas para reduzir os índices de evasão no Ensino Superior. Ademais, foi possível constatar que pouco está sendo feito para melhorar a formação pedagógica dos engenheiros-professores, assim como alinhar a teoria à prática que os futuros engenheiros encontrarão no mundo do trabalho.

Por fim, a revisão da literatura explicitou os desafios que os futuros engenheiros precisarão enfrentar ao ingressar no mundo do trabalho, como por exemplo, estresse, *burnout* e remuneração abaixo do piso salarial da categoria.

Quando se trata da mudança nas Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Engenharia, é possível constatar que o documento confirma o desafio dos cursos de graduação em Engenharia em conseguir formar engenheiros e apresenta a estimativa da taxa de evasão em torno de 50% (Brasil, 2019a).

Aravena-Reyes (2021) estabelece um paralelo entre as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) dos cursos de Engenharia de 2002 e as novas diretrizes publicadas em 2019. O autor inicia a análise destacando que não houve mudanças significativas nos principais problemas enfrentados pelos estudantes de Engenharia, especialmente as metodologias tradicionais de ensino e a retenção. Para Aravena-Reyes (2021), as DCN/2019 estão focadas em apontar direcionamentos para adequar a formação do engenheiro aos novos desafios da sociedade globalizada.

Desse modo, as DCN/2019 norteiam a formação de profissionais para atuar na nova conjuntura econômica internacional, considerando que o número de engenheiros formados é fundamental para o desenvolvimento científico e tecnológico do país, a fim de torná-lo competitivo no cenário mundial. No relatório que fundamenta o parecer das DCN/2019, os conselheiros apontam que “em 2014, enquanto a Coreia, Rússia, Finlândia e Áustria contavam com a proporção de mais de 20 engenheiros para cada 10 mil habitantes, (...) o Brasil registrava somente 4,8 engenheiros para o mesmo quantitativo” (Brasil, 2019a, p. 1).

As DCN/2019 trazem consigo a máxima de “formar mais e melhores engenheiros” (Aravena-Reyes, 2021, p. 144). Formar mais no sentido de ampliar o número de concluentes dos cursos de Engenharia e formar melhor no sentido de promover uma formação que articule o conhecimento técnico-científico com as *soft skills*, sob o viés humanista.

A partir dos dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), Godoy e Almeida (2020) explicam que o número de engenheiros formados por ano no Brasil é de 40 mil, enquanto Rússia, Índia e China formam, respectivamente, 190 mil, 220 mil e 650 mil. Diante desses números, a ampliação do número de engenheiros no mundo do trabalho é urgente e estratégica para tornar o Brasil competitivo no Mercado internacional.

Longe de esgotar a lista das causas adjacentes à evasão, Godoy e Almeida (2020) analisaram 4.932 trabalhos publicados nos anais do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) na série temporal de 2000 a 2014 em busca de discussões sobre a evasão. Os autores identificaram que apenas 2,4% dos trabalhos apresentaram alguma discussão sobre evasão nos cursos de Engenharia e puderam concluir, a partir da amostra analisada, que as sucessivas reprovações nas disciplinas básicas dos cursos de Engenharia, especialmente as

disciplinas Cálculo Diferencial e Integral, seguidas pelas deficiências na formação básica dos estudantes são as principais causas da evasão.

Godoy e Almeida (2020) alertam que o problema não está na oferta de vagas, mas nos índices elevados de abandono e trancamento dos cursos de Engenharia. Os autores sugerem que as Instituições de Ensino Superior (IES) formulem políticas institucionais direcionadas especialmente ao Ciclo Básico do curso para diminuir os problemas de reprovação, retenção e evasão nos cursos de Engenharia.

Chama atenção o baixo número de trabalhos apresentados no COBENGE que tratam de uma problemática crítica para os cursos de graduação em Engenharia. Além disso, as evidências encontradas apontam um olhar mais atento ao Ciclo de Conteúdos Básicos do currículo das Engenharias. Essas evidências provocam reflexões sobre o que acontece nessa etapa do percurso acadêmico do estudante para influenciar sua decisão em abandonar o curso.

A princípio, Aravena-Reyes (2021) alerta para o perigo de se concluir que a causa maior da retenção e da evasão nos cursos de Engenharia seja a prática tradicional de ensino. Se assim fosse, bastaria alterar a metodologia de ensino e a estrutura curricular para solucionar o gargalo dos cursos de Engenharia. O que se vê, porém, é um significativo descompasso entre os Projetos Pedagógicos dos Cursos (PPC) ditos atualizados e as práticas pedagógicas que acontecem no cotidiano institucional (Aravena-Reyes, 2021).

Sobre os fatores que causam evasão, Pereira-Guizzo *et al.* (2021, p. 1029) apontaram “dificuldades em algumas disciplinas das Ciências Exatas, falta de tempo para o estudo por necessidade de trabalhar e problemas de adaptação na universidade”. Além disso, os cursos de Engenharia costumam ter carga elevada de disciplinas teóricas ministradas através da metodologia de ensino clássica, a qual enfatiza a transmissão e a memorização de conteúdo, proporcionando poucas oportunidades extraclasse para consolidar a aprendizagem.

No caso da Universidade Federal do Ceará, um professor do Centro de Tecnologia alertou no ano de 2018 que o índice de evasão foi de 44% nos últimos cinco anos. O professor Ivanildo José da Silva Júnior apontou como principais causas da evasão dos estudantes do Centro de Tecnologia da UFC a estrutura curricular e o formato das aulas, as quais eram pouco atrativas e motivaram a desistência dos estudantes (Dias, 2018 *apud* Lima; Braga; Barroso, 2023).

Rocha (2020 *apud* Lima; Braga; Barroso, 2023) também realizou pesquisa qual-quantitativa sobre a evasão nos cursos de Engenharia da UFC e identificou cinco fatores que influenciam a decisão do estudante abandonar o curso:

“A não identificação com o curso poderia motivar minha decisão de evasão”, “Perceber que minha atividade profissional não será tão prazerosa quanto eu imaginei poderia influenciar na minha decisão de evasão”, “A possibilidade de precisar trabalhar no mesmo horário das aulas poderia motivar a minha evasão”, “Os professores utilizarem uma metodologia de ensino inadequada poderia afetar na minha opção pela evasão” e, por último, “Perceber que o mercado de trabalho na minha área é muito limitado poderia influenciar na minha decisão pela evasão” (Rocha, 2020 *apud* Lima; Braga; Barroso, 2023, pp. 7-8).

Os resultados das pesquisas supracitadas demonstram a necessidade de aprofundar o estudo sobre os arranjos curriculares propostos nos PPC e as causas relacionadas ao insucesso dos estudantes nas disciplinas de Conteúdo Básico. Se existe uma contradição entre o PPC e o que ocorre em sala de aula, é necessário realinhar as práticas pedagógicas à proposta do curso e proceder uma avaliação científica para compreender as razões do insucesso acadêmico.

Em coerência com as causas da evasão, as soluções propostas também são de cunho pedagógico, pois os trabalhos publicados nos anais do COBENGE sugeriram a realização de programas acadêmicos de monitoria e tutoria, o nivelamento das disciplinas básicas e a inclusão das tecnologias digitais no processo de ensino e aprendizagem das disciplinas do Ciclo Básico (Godoy; Almeida, 2020).

Nesse sentido, Godoy e Almeida (2020) defendem que a tutoria seja realizada por estudantes de semestres mais avançados, que possivelmente passaram pelas mesmas dificuldades dos estudantes das disciplinas do Ciclo Básico. Os autores identificam na aprendizagem cooperativa uma oportunidade de aprimorar o desempenho acadêmico dos estudantes nas disciplinas mais críticas do currículo.

Para além do conhecimento das Ciências Exatas, as DCN/2019 também acrescentam que os futuros engenheiros precisam saber realizar pesquisa científica, desenvolver, adaptar e inovar tecnologias, produtos e serviços sob uma cultura empreendedora. Tal perfil se faz necessário tendo em vista as mudanças da sociedade, a qual está mais conectada e preocupada com a sustentabilidade e a responsabilidade social (Brasil, 2019a).

No tocante à sustentabilidade e à responsabilidade social, Aravena-Reyes (2021) observa que a responsabilidade com o meio ambiente e o papel político do engenheiro já eram previstos nas DCN anteriores, o que não mudou, porém, foi o pressuposto de que o engenheiro-professor possui essas competências desenvolvidas e está apto a ensiná-las aos estudantes das engenharias.

A pesquisa de Aravena-Reyes (2021) traz à baila um assunto importante para o desenvolvimento de práticas inovadoras no processo de ensino e aprendizagem no Ensino Superior: a formação pedagógica dos professores do Magistério Superior, especialmente dos

cursos de Engenharia, pois não se muda a didática dos engenheiros-professores sem antes mudar sua visão de mundo.

Guerrini, Alencar e Santos (2020) observaram as práticas de ensino de três engenheiros-professores na disciplina de Usinagem de um curso de Engenharia Mecânica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Os autores identificaram que os engenheiros-professores priorizaram a pesquisa em detrimento da formação pedagógica, o que é comum na área das Engenharias, haja vista que a didática do engenheiro-professor é desenvolvida a partir da reprodução cultural, ou seja, o engenheiro-professor ensina a partir da experiência que teve com seus antigos professores.

No contexto das universidades federais, é necessário mudar a cultura organizacional para que a melhoria dos métodos de ensino se materialize em maiores aprovações nas disciplinas. Lima, Braga e Barroso (2023) reconhecem o desafio que os engenheiros-professores precisam enfrentar para integrar ao currículo das Engenharias o conteúdo disciplinar com a formação política e a teorização crítica. Essa articulação é essencial para que o estudante consiga compreender que a inovação tecnológica e científica precisa ser balizada pelos impactos sociais, ambientais e econômicos.

Para enfrentar o desafio de melhorar as práticas de ensino e integrar a excelência no conhecimento técnico com uma sólida formação humanística, é urgente rediscutir a formação dos engenheiros-professores nas próprias DCN/2019 e nos PPC. Apesar do parecer das DCN/2019 reconhecer que a progressão funcional dos docentes do Magistério Superior dá pouca relevância ao ensino de graduação, as próprias DCN/2019 não incluem as atividades de ensino no rol de competências que delineiam o perfil do egresso do curso de Engenharia.

A ausência da formação de professores nas DCN/2019 e nos PPC de Engenharia contribui para a manutenção da lacuna pedagógica na formação do engenheiro-professor, conforme constataram Mello e Andreatta-da-Costa (2021) ao analisar os PPC de Engenharia Civil das universidades públicas de Pernambuco.

Mello e Andreatta-da-Costa (2021) entrevistaram egressos dos cursos de Engenharia Civil e observaram nas falas dos profissionais que os engenheiros-professores tiveram dificuldade de associar a teoria à prática: “os professores das IES estudadas, de maneira geral, priorizam os aspectos teóricos e acadêmicos, muitas vezes, sem uma clara conexão com os problemas que surgem em obras (Mello; Andreatta-da-Costa, 2021, p. 113)”.

Santiago *et al.* (2020) realizaram pesquisa com egressos do curso de Engenharia Ambiental da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e constataram que 71% dos respondentes consideraram o curso muito teórico e pouco prático. Em pesquisa

realizada anteriormente por Filho *et al.* (2012 *apud* Santiago *et al.*, 2020) 62% dos respondentes também consideraram o curso mais teórico que prático. Nesse sentido, não houve alterações significativas nas aulas práticas desde a criação do curso (Santiago *et al.*, 2020).

É importante destacar que além de aprimorar a formação pedagógica dos engenheiros-professores, as IFES precisam investir em estratégias que aproximem os estudantes do exercício da profissão no mundo do trabalho por meio de iniciativas como os estágios supervisionados, o Movimento Empresa Júnior, o Programa de Educação Tutorial (PET), os projetos de extensão e as visitas técnicas.

Junior *et al.* (2017 *apud* Santiago *et al.*, 2020) sugerem articular teoria e prática por meio da construção de currículo baseado em projetos, que pode articular quase toda a estrutura curricular e não apenas algumas disciplinas. Santiago *et al.* (2020), por sua vez, reconhecem a contribuição do Movimento Empresa Júnior, do Programa de Educação Tutorial (PET), do programa Engenheiros sem Fronteiras e outros grupos de estudo como ferramentas de integração entre teoria e prática.

Essa fragilidade em articular os conhecimentos acadêmicos e teóricos à realidade prática dificulta a atuação dos egressos no mundo do trabalho, pois terão de aprender por conta própria as novas tendências nos processos de construção. Ao contrastar as entrevistas dos egressos com os PPC de Engenharia, Mello e Andreatta-da-Costa (2021) constataram que a proposta de ensino dos cursos de Engenharia Civil das instituições públicas de Pernambuco não atende à tendência atual de industrialização das construções, sobretudo nas obras de médio e grande portes.

Vale salientar que as DCN/2019 orientam a construção de currículos por competências e não por conteúdo como orientavam as DCN/2002. Além de focar o fortalecimento das competências técnicas, as DCN/2019 trazem à baila as *soft skills*, que “representam, de fato, um conjunto de competências comportamentais que visam uma nova atitude do engenheiro perante a realidade profissional” (Aravena-Reyes, 2021, p. 150).

Ora, para que as *soft skills* sejam desenvolvidas, é necessário que a estrutura curricular propicie oportunidades de aprendizagem ativa para que os estudantes possam atuar de forma cooperativa, avaliar situações-problema e formular soluções a partir da mobilização dos conhecimentos técnico-científicos adquiridos no curso de graduação.

No entendimento de Mello e Andreatta-da-Costa (2021, p. 107), o currículo por competências estabelece “a aprendizagem ativa e a importância de uma amplitude de conhecimentos maior na formação do Engenheiro, incluindo os impactos sociais, econômicos, ambientais e éticos do exercício profissional da Engenharia”. Sendo assim, o mundo do trabalho

demanda do engenheiro competências como análise crítica das tecnologias disponíveis e empatia para identificar as necessidades do usuário (customização), a exemplo das tecnologias assistivas, as quais podem incluir as pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida nos ambientes físicos e virtuais de forma autônoma, independente e melhorando a qualidade de vida desses cidadãos.

O currículo baseado em projetos é uma alternativa para promover a formação integral do estudante de Engenharia, pois possibilita a integração dos núcleos básico, profissional e específico das Engenharias mediante adoção de metodologias ativas. Além de integrar o conteúdo das disciplinas, o currículo baseado em projetos contribui para melhorar a motivação dos estudantes, uma vez que os egressos relacionaram a articulação entre o conteúdo teórico e a prática como motivo para aumento ou diminuição da motivação durante o curso (Santiago *et al.*, 2020).

Ademais, as competências relacionadas à inovação, empreendedorismo e customização de produtos, serviços e tecnologias são necessárias para que o engenheiro consiga atuar no mundo do trabalho marcado pela 4<sup>a</sup> Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, que se caracteriza pela:

conexão entre equipamentos, processos e softwares, através de sensores; cyber sistemas com máquinas com capacidade de memória; armazenamento de informações em servidores virtuais (cloud computing); comunidades com interconexões e informações compartilhadas; conteúdo com a garantia de qualidade de informação; e, customização que permita a manufatura ajustável, flexível e prática (Ivale; Silva; Nääs, 2021, p. 3).

Por um lado, faz-se necessário investir bastante em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), equipar a indústria nacional com tecnologias digitais e qualificar a força de trabalho para se tornar competitivo na Indústria 4.0. Por outro lado, não basta pensar em quanto a tecnologia se sofisticou ou quais estratégias são necessárias para produzir e lucrar mais, “a ênfase, hoje, deveria ser na organização do setor produtivo no sentido de antecipar as consequências sociais e ambientais dos altos níveis de automação e controle que se anunciam” (Aravena-Reyes, 2021, p. 151).

Ao mesmo tempo que os engenheiros-professores devem estimular os futuros engenheiros para a inovação e o empreendedorismo, também devem estimular a reflexão sobre os impactos do modelo produtivo para a sociedade e o meio ambiente. Desse modo, a formação de engenheiros:

deveria incluir uma forte formação social, tomando o social não como o simples contexto dos usuários da ação engenheiril, senão como a condição de onde emerge toda a capacidade inventiva e produtiva da Engenharia e, portanto, os rumos que a sociedade toma em função dela (Aravena-Reyes, 2021, p. 152).

Sendo assim, não se pode conceber a formação do engenheiro como profissional desprovido de função social, ou seja, reduzido a sua competência técnica. Nesse aspecto, as DCN/2019 traçam o perfil e as competências esperadas dos engenheiros que atuarão na conjuntura da Indústria 4.0, destacando sua formação humanística, visão sistêmica, senso crítico, criatividade, cooperativismo, conduta ética, sem perder de vista a sólida formação técnica das engenharias (Brasil, 2019a).

De acordo com Ivale, Silva e Nääs (2021), o Brasil está atrasado quando o assunto é Indústria 4.0, pois no ano de 2018 figurava no 64º lugar de 126 países no Índice Global de Inovação (IGI) das economias com maiores capacidades e sucesso de inovação.

Ao consultar o IGI referente ao ano de 2024, foi possível identificar que o Brasil subiu para o 50º lugar, mantendo-se em posição de liderança na América Latina e Caribe pelo quarto ano consecutivo, a frente do Chile (51º) e do México (56º) (World Intellectual Property Organization, 2024). Apesar do desempenho do país ter melhorado, a indústria brasileira precisa investir ainda mais em P&D, eficiência energética, produção limpa, utilização de inteligência artificial no processo produtivo e requalificação dos profissionais para se tornar competitiva e inserida no mercado global.

Tendo em vista que o Brasil está atrasado há cerca de uma década em relação aos países desenvolvidos, será necessário ampliar a produtividade em altos índices para torná-lo competitivo no Mercado internacional, o que acarretará altos níveis de estresse e fadiga nos profissionais. Como consequência do aumento da competitividade e da produtividade, tudo leva a crer que “a condição psíquica dos engenheiros também passará por processos de deterioração acentuados, todos os quais evidenciam as contradições desse modelo social e profissional” (Aravena-Reyes, 2021, p. 153).

Somado ao adoecimento mental pelo esforço e estresse, outra dimensão importante que o modelo de produção influencia é o padrão de consumo, o qual requer alto poder aquisitivo e demanda muito trabalho para os cidadãos. Nesse sentido, os engenheiros precisam trabalhar mais, pois a remuneração do primeiro emprego está abaixo do piso salarial da categoria, estabelecido em lei, que é de 8,5 salários-mínimos (Santiago *et al.*, 2020).

Santiago *et al.* (2020) pesquisaram os egressos dos cursos de Engenharia Ambiental da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) acerca das percepções sobre o curso, o mundo do trabalho e a relação entre os conteúdos aprendidos na graduação e a realidade profissional. A pesquisa apontou que 50% dos egressos ingressaram com menos de seis meses no mundo do trabalho; 25% levaram de um a dois anos e 14% levaram mais de dois anos para atuar na área da Engenharia Ambiental. Além disso, Santiago *et al.* (2020)

constataram que a maior parcela dos egressos (33%) foi contratada como analistas ambientais e a segunda maior parcela dos egressos (31%) atuava na área de ensino e pesquisa.

Mais uma vez a atuação do engenheiro nas atividades de ensino se destaca ao figurar na segunda maior área de atuação dos egressos do curso de Engenharia Ambiental da UFOP. Apesar das DCN/2019 não incluir as competências didáticas no rol de competências do engenheiro, tanto o Magistério do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico como o Magistério Superior estão entre as possibilidades de ingresso do engenheiro no mundo do trabalho.

Outra nuance pesquisada por Santiago *et al.* (2020) diz respeito à remuneração. Os autores identificaram que quanto mais experiência o engenheiro ambiental tem no mundo do trabalho, maiores as faixas salariais: “(...) os egressos com mais tempo de formados recebem maiores faixas salariais e os egressos com mais de dez anos de experiência tem, em média, recebido salários condizentes com o estabelecido por lei” (Santiago *et al.*, 2020, p. 18).

A demora para ascender profissionalmente e o baixo salário inicial são desafios que o futuro engenheiro terá que enfrentar ao ingressar no mundo do trabalho. É interessante essa informação trazida por Santiago *et al.* (2020), pois contrasta com a necessidade de formar mais engenheiros para atender as demandas do Mercado, conforme apontaram Godoy e Almeida (2020). A despeito da demanda crescente por engenheiros, o padrão remuneratório oferecido pelo Mercado é inversamente proporcional.

Esta seção não teve a pretensão de esgotar as discussões sobre o fenômeno da evasão, o baixo índice de diplomação dos cursos de Engenharia, as limitações das DCN/2019, as lacunas na formação pedagógica dos engenheiros-professores, a carência de engenheiros no Mercado ou as barreiras que os futuros engenheiros enfrentarão ao ingressar no mundo do trabalho. No entanto, tanto a revisão sistemática da literatura como a revisão de literatura possibilitaram compreender a conjuntura da formação de engenheiros no Brasil e identificar quais aspectos encontrados no contexto local do Centro de Tecnologia da UFC se assemelham ao contexto nacional.

O Capítulo 2, por sua vez, trouxe à discussão o referencial teórico que fundamentou a realização desta tese, tendo em vista o papel da Avaliação Educacional, suas limitações para o contexto brasileiro e as contribuições da Educometria no aprofundamento do estudo das causas associadas aos fenômenos do insucesso, da retenção e da evasão no Ensino Superior.

O Capítulo 3 apresentará a metodologia adotada na realização desta tese, considerando a aplicação dos modelos matemáticos e estatísticos, provenientes da Educometria, ao estudo da estrutura curricular do curso de graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da UFC em Fortaleza.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos metodológicos, a caracterização, o contexto, a amostragem, técnicas de coleta e análise dos dados da pesquisa. Para tanto, a tese contemplou três estudos: inicialmente, a criação de um indicador chamado Número de Alunos Sem Sucesso (NASS) (Oliveira *et al.*, 2023), por meio da estatística descritiva, para explorar o insucesso do curso de Engenharia Elétrica junto com os demais cursos na unidade acadêmica onde ele está inserido, no caso o Centro de Tecnologia.

Em um segundo momento, foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA), a partir de uma matriz que contém a quantidade de aprovados em uma série temporal de 2015 a 2022. Inicialmente, realizou-se a correlação entre os anos e as disciplinas para se extrair novas informações implícitas. Logo após, procedeu-se a aplicação da técnica PCA para aprofundar o estudo e extrair mais evidências latentes nas variáveis estudadas.

Por último, a fim de extrair mais informações para confirmar a influência da estrutura curricular nas aprovações, foi realizado o Acoplamento de Matrizes por meio de modelos estatísticos multivariados juntando uma matriz de relacionamento curricular com uma matriz que contém a quantidade de aprovados nas disciplinas em uma série temporal de 2015 a 2022.

#### 3.1 Caracterização da Pesquisa

Esta tese se constitui como pesquisa de natureza aplicada do tipo descritiva. Prodanov e Freitas (2013, p. 51) consideram que “a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”.

Esta tese possui abordagem quantitativa, pois utiliza modelos matemáticos-estatísticos para analisar fenômenos complexos em um contexto educacional encarado como processo integrado, influenciado por variáveis multidimensionais.

Quanto aos objetivos, a presente tese pode ser classificada como exploratória. Prodanov e Freitas (2013) afirmam que esse tipo de pesquisa tem como objetivo aprofundar o conhecimento sobre o fenômeno investigado para entender como e quais as razões de sua ocorrência.

Nesse sentido, a partir da coleta de dados de sucesso obtido nas disciplinas do curso, buscou-se observar, analisar e interpretar a relação entre as disciplinas e os seus respectivos pré-requisitos curriculares para saber se impactam na trajetória acadêmica dos estudantes do

curso de graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, permitindo, assim, identificar padrões de comportamento ou agrupamentos, a partir dos resultados dos desempenhos acadêmicos dos estudantes e das ofertas disciplinares consecutivas ano após ano.

### **3.2 Contexto da pesquisa**

A tese foi conduzida no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza, que oferta no ano de 2024 os seguintes cursos de graduação: Engenharia Mecânica, Engenharia de Energias e Meio Ambiente, Engenharia Química, Engenharia de Computação, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Design, Engenharia Elétrica, Engenharia de Produção Mecânica, Engenharia Metalúrgica, Engenharia de Telecomunicações e Engenharia de Teleinformática.

O curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFC em Fortaleza foi criado em 1974 e, inicialmente, ofertava 50 vagas por semestre. Atualmente, oferta 100 vagas anuais. O prazo mínimo para conclusão do curso é de 10 semestres e o máximo é de 15 semestres. O Projeto Pedagógico do Curso (PPC) analisado nesta tese foi o de 2005, o qual continha 40 disciplinas obrigatórias (Universidade Federal do Ceará, 2005).

Vale salientar que esta tese não considerou os dados do novo Projeto Pedagógico do Curso de graduação em Engenharia Elétrica lançado em 2023, visto que houve mudanças curriculares que não poderiam ser incluídas com os dados de anos anteriores extraídos do projeto pedagógico de referência desta tese. (Universidade Federal do Ceará, 2023).

O curso de graduação em Engenharia Elétrica em Fortaleza foi selecionado como alvo da tese por ser um dos primeiros cursos de engenharia da UFC, ter histórico de alta competitividade para ingresso e apresentar importante insucesso nos indicadores de desempenho associados à diplomação, conforme indicam resultados de pesquisa sobre a eficiência de cursos de graduação (Cavalcante; Andriola, 2012).

### **3.3 Amostragem**

A amostra foi delineada a partir da seleção de 38 disciplinas obrigatórias da estrutura curricular do curso de graduação em Engenharia Elétrica do CT em Fortaleza ofertadas na série temporal de 2015 a 2022, com destaque para as variáveis observadas que dizem respeito à quantidade de aprovações de cada disciplina ofertada sistematicamente em cada ano do período selecionado para análise. Esta opção de amostragem se justifica pela influência natural

das disciplinas obrigatórias no percurso acadêmico de todos os estudantes e na estrutura curricular do curso.

Vale destacar que a UFC classifica os componentes curriculares em atividades, disciplinas e módulos. Nesta tese, foram consideradas apenas as disciplinas obrigatórias do curso de graduação em Engenharia Elétrica, as quais compõem a maior parte da estrutura curricular, conforme mostrado no Quadro 4.

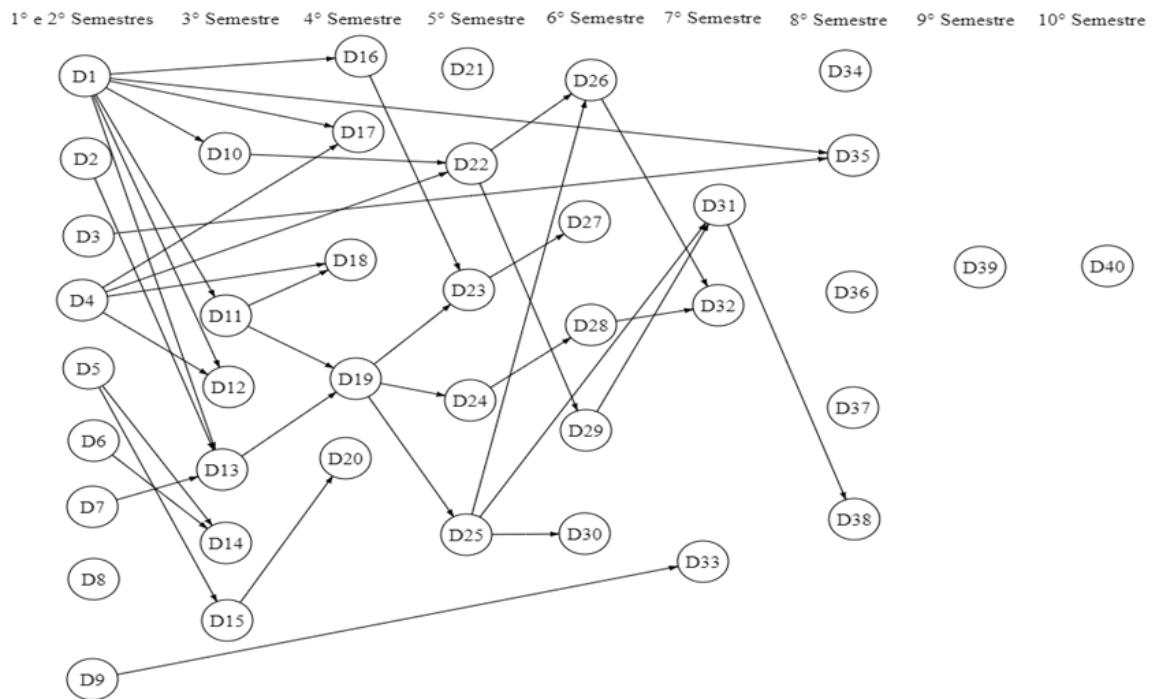
Quadro 4 - Estrutura Curricular do Curso de Engenharia Elétrica da UFC

D	Código	Componente Curricular	Pré-Requisito	Semestre	Ano
D1	CB664	Cálculo Fundamental		1 e 2	1
D2	CB665	Álgebra Linear		1 e 2	1
D3	CC265	Probabilidade e Estatística		1 e 2	1
D4	CD327	Física Fundamental		1 e 2	1
D5	CD328	Física Experimental para Engenharia		1 e 2	1
D6	TC592	Desenho para Engenharia		1 e 2	1
D7	CK174	Programação Computacional para Engenharia		1 e 2	1
D8	CE846	Química Geral para Engenharia		1 e 2	1
D9	TH166	Introdução à Engenharia		1 e 2	1
D10	CB669	Cálculo Vetorial Aplicado	CB664	3	2
D11	CB681	Séries e Equações Diferenciais	CB664	3	2
D12	TB791	Mecânica dos Materiais	CB664 e CD327	3	2
D13	TH168	Métodos Numéricos Aplicados à Engenharia Elétrica	CB664, CB665 e CK174	3	2
D14	TH169	Instrumentação, Medidas e Instalações Elétricas	CD328 e TC592	3	2
D15	TH170	Eletrônica Digital	CD328	3	2
D16	CB682	Variável Complexa	CB664	4	2
D17	TE141	Engenharia dos Materiais	CB664 e CD327	4	2
D18	TF312	Elementos de Fenômenos de Transporte	CD327 e CB681	4	2
D19	TH171	Circuitos Elétricos I	TH168 e CB681	4	2
D20	TH172	Microprocessadores	TH170	4	2
D21	TE145	Engenharia Econômica		5	3
D22	TH173	Eletromagnetismo Aplicado	CB669 e CD327	5	3
D23	TH174	Sistemas Lineares	CB682 e TH171	5	3
D24	TH175	Eletrônica Analógica	TH171	5	3
D25	TH176	Circuitos Elétricos II	TH171	5	3
D26	TH177	Conversão Eletromecânica de Energia	TH173 e TH176	6	3
D27	TH178	Controle de Sistemas Dinâmicos	TH174	6	3
D28	TH179	Eletrônica de Potência	TH175	6	3
D29	TH180	Princípios de Comunicações	TH173	6	3
D30	TH181	Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica	TH176	6	3
D31	TH182	Materiais, Equipamentos e Instalações Elétricas Prediais	TH176 e TH1809	7	4
D32	TH183	Máquinas Elétricas	TH177 e TH179	7	4
D33	TH184	Ciências, Tecnologia e Sociedade	TH166	7	4
D34	TD922	Higiene Industrial e Segurança no Trabalho		8	4
D35	TE133	Fundamentos da Economia	CB664 e CC265	8	4
D36	TE134	Fundamentos de Administração		8	4
D37	TD921	Engenharia Ambiental		8	4
D38	TH185	Instalações Elétricas Industriais	TH182	8	4
D39	TH186	Estágio Supervisionado para Engenharia Elétrica		9	5
D40	TH187	Trabalho Final de Curso		10	5

Fonte: Autor (2024).

A partir da análise do Projeto Pedagógico do Curso (versão 2005), foi possível identificar que algumas disciplinas têm outras disciplinas como pré-requisitos, as quais demandam conhecimentos prévios importantes, oriundos de disciplina(s) anterior(es), para permitir a progressão dos estudantes em seu processo de formação. Portanto, é crucial que os estudantes obtenham sucesso para integralizarem os créditos pertinentes e progredirem regularmente na estrutura curricular do curso, e assim, avançarem rumo à diplomação. Através da análise minuciosa da estrutura curricular, identificou-se a necessidade de elaborar um Grafo para aprimorar a visualização da dependência entre as disciplinas obrigatórias, elucidando a relação de pré-requisitos entre elas, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Grafo da dependência entre as disciplinas obrigatórias



Fonte: Autor (2024).

### 3.4 Coleta de dados

Os dados das turmas das disciplinas obrigatórias foram fornecidos pela Superintendência de Tecnologia da Informação (STI/UFC), a qual disponibilizou os dados brutos para análise ao longo desta tese, os quais foram organizados por curso, semestre e turmas ofertadas no período de 2015 a 2022. Cabe destacar que, em geral, as coordenações dos cursos de graduação da UFC ofertam disciplinas em regime semestral. Entretanto, as disciplinas iniciais dos cursos de graduação do CT/UFC foram ofertadas no regime anual durante o período

observado, o que exigiu uma adaptação na organização dos dados para padronizar o agrupamento das turmas por ano.

Foram retiradas as duas últimas disciplinas obrigatórias (Estágio Supervisionado para Engenharia Elétrica e Trabalho Final de Curso) por serem disciplinas que não atribuem nota, mas apenas os conceitos “aprovado” ou “não aprovado”.

A partir do conjunto de dados fornecido pela STI, foi possível organizar e tratar os dados a partir das variáveis com a quantidade de reprovações por nota, por frequência, trancamento e supressão, entre outros tópicos de todos os cursos de graduação presencial da UFC.

Esses dados foram organizados em dois bancos de dados, o primeiro para a construção do indicador NASS e para a construção de uma matriz que continha a quantidade de aprovados em cada disciplina por ano, denominada Matriz de Aprovados. Esta mesma matriz foi submetida ao estudo da correlação, Análise de Componentes Principais (PCA) e ao Acoplamento de Matrizes, conforme detalhado no Capítulo 4.

O segundo banco de dados foi organizado para construir a matriz denominada Matriz de Relacionamento Curricular, que é construída com elementos 0 (zero) ou 1 (um), cujas linhas e colunas representam as disciplinas, sendo atribuído 1 caso possua pré-requisito com a disciplina subsequente, caso contrário é colocado o 0 (zero). A Matriz de Relacionamento Curricular pode ser associada a uma Matriz de Transição ou Transmissão ideal no contexto da teoria dos grafos, de acordo com o grafo da Figura 2.

### **3.5 Análise dos dados e modelagem estatística**

Para analisar os dados, recorreu-se a diferentes modelos estatísticos e técnicas computacionais para contrastar e confirmar resultados. Por apresentar uma complexidade significativa, o fenômeno estudado demandou esforço computacional muito importante, sendo necessário adotar procedimentos que permitissem analisar o grande volume de dados intrínsecos ao problema da pesquisa, e ao mesmo tempo, extrair as informações latentes da amostra delineada.

Nesse sentido, será apresentado o indicador para medir o insucesso dos estudantes de graduação da UFC, denominado Número de Alunos Sem Sucesso (NASS). Na sequência, será descrita a técnica *Principal Component Analysis* (Análise de Componentes Principais – *PCA* – sigla em inglês). Por fim, será explicado o procedimento da *Coupled Matrix Factorization* (Análise do Acoplamento de Matrizes – *CMF* – sigla em inglês).

### 3.5.1 Número de Alunos sem Sucesso (NASS)

A criação do indicador Número de Alunos Sem Sucesso (NASS) teve como pano de fundo a busca pelas disciplinas da estrutura curricular do curso em questão que estariam relacionadas com a retenção e a evasão existentes no CT da UFC em Fortaleza. Com essa perspectiva, executou-se um estudo diagnóstico sobre todas as turmas das disciplinas obrigatórias na série temporal 2015 a 2022.

Na sequência, o NASS foi construído para avaliar o insucesso dos alunos dos cursos de graduação do Centro de Tecnologia (CT) e de outras unidades acadêmicas da UFC, em Fortaleza e nos campi do interior. Após a definição do problema, foi possível delimitar os dados do curso de graduação em Engenharia Elétrica do CT da UFC em Fortaleza, conforme explicado na seção 3.2 Contexto da pesquisa.

O desenvolvimento do NASS foi importante para esta tese, tendo em vista a necessidade de considerar as múltiplas dimensões que influenciam o desempenho acadêmico dos estudantes e a eficiência da gestão universitária. Sem o acompanhamento sistemático e um indicador adequado, não é possível obter dados úteis e confiáveis, o que pode acarretar prejuízos à aprendizagem do estudante e impedir o aprimoramento da instituição de ensino.

Sendo assim, por meio do NASS foi possível medir o desempenho acadêmico dos estudantes do curso de graduação em Engenharia Elétrica do CT em Fortaleza em cada semestre letivo da série temporal. Para tanto, o NASS contemplou as variáveis de insucesso dos estudantes de graduação a partir da soma do número de alunos com: reprovação por nota (ARPN), reprovação por falta (ARPF), trancamento (AT) e supressão (SUP)<sup>4</sup>.

A soma das variáveis que compõem o Número de Alunos Sem Sucesso (NASS) pode ser representada pela fórmula (1).

$$\begin{aligned} \text{NASS} : & \text{Alunos com Reprovação por Nota (ARPN)} + \text{Alunos com Reprovação por Falta (ARPF)} \\ & + \text{Alunos com Trancamento (AT)} + \text{Alunos com supressão (SUP)}. \end{aligned} \quad (1)$$

Todas as disciplinas da Universidade Federal do Ceará foram mapeadas e analisadas, viabilizando a obtenção de valores de NASS por curso, unidade acadêmica e campus. Após a análise, foram identificadas algumas disciplinas com maiores valores de NASS do que outras,

---

<sup>4</sup> Este mecanismo foi pensado cuidadosamente para garantir aos estudantes que, porventura, não possam acompanhar as atividades acadêmicas durante a pandemia de COVID-19, a interrupção dos estudos sem nenhum prejuízo ao Índice de Rendimento Acadêmico (IRA) ou ao tempo de conclusão do curso.

assim como a existência de algumas áreas do conhecimento com maiores valores de NASS do que outras.

A partir do NASS, também foi possível calcular a média de insucesso das disciplinas, a qual possibilita outras análises mais detalhadas das disciplinas e que pode ser representada pela fórmula (2).

$$\text{Média de insucesso} = \frac{\text{Total de NASS}}{\text{Total de alunos no referido semestre}} \quad (2).$$

Em síntese, o NASS possibilitou extrair inferências e identificar variáveis latentes nos dados coletados. É importante frisar que durante o tratamento dos dados quantitativos foi tomado o devido cuidado ao considerar a complexidade das relações intrínsecas ao ambiente educacional.

### **3.5.2 Análise de Componentes Principais (PCA)**

Para conseguir extrair informações latentes nos dados analisados, recorreu-se a métodos da estatística multivariada, como a técnica *Principal Component Analysis* (Análise de Componentes Principais – *PCA* – sigla em inglês), a qual permitiu analisar as relações intrínsecas das variáveis levantadas a partir da matriz que fornece a quantidade de alunos aprovados em cada disciplina anualmente, doravante Matriz de Aprovados.

A técnica PCA transforma variáveis correlacionadas em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas, chamadas de componentes principais, ordenadas de acordo com a variância que explicam no conjunto de dados original (Jolliffe; Cadima, 2016). A PCA permite representar os dados em uma dimensão reduzida, mantendo, ao máximo, as características originais dos dados (Jolliffe, 2002).

Cumpre destacar, por oportuno, que a Análise de Componentes Principais (PCA) é um caso particular de uma técnica para a redução de matrizes de dados denominada Análise Fatorial (AF), cuja relevância científica foi destacada por Pasquali (1997), García Jiménez, Gil Flores e Gómez (2000) nos seguintes termos:

Determinar a estrutura fatorial que subjaz a um grupo de itens é algo extremamente importante para uma atividade com pretensões científicas, como é o caso particular da Educometria.

Nesse diapasão, Keeling (2000) destacou:

Determinar a dimensionalidade dos dados de um estudo empírico é fundamental para a interpretação das análises. Os pesquisadores podem escolher entre várias regras para determinar o número “correto” de dimensões em um conjunto de dados (p. 457, tradução nossa<sup>5</sup>).

Consoante Gavíria Soto (1988), Hattie (1984; 1985), Keeling (2000), Nandakumar (1994) e Andriola (2002), embora exista enorme diversidade de métodos para determinar a estrutura fatorial de um conjunto de dados – dentre os quais podem ser destacados: o procedimento de Bejar; o contraste de Gustaffson; o método de McDonald; o contraste Q1 e Q2 de Van den Wollenberg; a análise de precedência modificada; o método Hattie para a comparação de autovalores reais e simulados; o método da equação de regressão – a maioria dos autores ainda recomenda o emprego da Análise Fatorial (AF), conforme equação (3).

$$X_i = a_i F_1 + a_i F_2 + \dots + a_k F_k + u_i D_i \quad (3),$$

sendo onde,  $X_i$  é a pontuação obtida na variável observada  $i$ ,  $a_i$  é a carga fatorial e  $u_i D_i$  é a unicidade (variância específica ou não compartilhada) da variável observada  $X_i$  no fator específico  $D_i$ .

Como destacou Martínez Arias (1997), esse modelo linear tenta explicar, assim, a atuação de construtos latentes, componentes ou fatores (F) sobre certas variáveis observadas (X), cada uma delas com seus pesos específicos, intensidades, saturações ou cargas fatoriais (a). Por lógica, a variância total dos resultados nunca será explicada unicamente pelos fatores comuns (F), pois existe uma parte denominada variância não explicada que se deve aos fatores específicos (D), que também exercem influência com certa intensidade (u) sobre as variáveis observadas (X).

O passo a passo da técnica PCA inclui: (1) Padronização dos dados, (2) Matriz de Correlação, (3) Teste de Validação, (4) Decomposição em Autovalores e Autovetores (4) Ordenação e (5) Seleção dos Componentes Principais. Para aprimorar os resultados, os dados foram organizados com uso do K-means e do método Elbow.

O primeiro passo no PCA, a normalização dos dados, é realizado especialmente quando as variáveis estão em escalas diferentes. Tal normalização é realizada subtraindo a média e dividindo pelo desvio padrão de cada variável, conforme demonstrado na equação (4).

---

<sup>5</sup> Determining the dimensionality of data from an empirical study is crucial to the interpretation of the analyses. Researchers can select from various rules to determine the ‘correct’ number of dimensions in a data set.

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{s_j} \quad (4),$$

em que,  $Z_{ij}$  é o valor normalizado da variável  $j$  para a observação  $i$ .  $X_{ij}$  o valor original da variável  $j$  para a observação  $i$ .  $\bar{X}_j$  é a média da variável  $j$  e  $s_j$  é o desvio padrão da variável  $j$ .

A técnica PCA também pode ser realizada usando a matriz de correlação, que foi o caso desta tese, ao invés da matriz de covariância, especialmente quando as variáveis possuem escalas ou unidades diferentes. Ao utilizar a matriz de correlação, é possível normalizar a influência de variáveis com grande variância, assegurando que cada uma contribua de forma proporcional no cálculo dos componentes principais.

Trata-se de uma abordagem robusta, especialmente eficaz quando as variáveis analisadas têm diferentes unidades de medida ou escalas (Jolliffe, 2002). Ao invés de usar a matriz de covariância, que é mais influenciada por variáveis com maior variância, a matriz de correlação normaliza essas influências, garantindo que todas as variáveis contribuam de maneira uniforme na definição dos componentes principais (Bro; Smilde, 2014).

Embora a correlação de Pearson seja a mais conhecida, existem outros tipos de correlação como a bisserial, policórica, polisseram e a tetracórica. Sendo consequências de combinações de tipos de variáveis diferentes (binárias, ordinais, quantitativas) (Hair *et al.*, 2015). Segundo Matos *et al.* (2019), os pesquisadores costumam adotar a correlação de Pearson para estimar resultados por meio de medidas quantitativas.

Quando se tem um conjunto de dados e pretende-se medir suas correlações, é possível organizá-lo a partir de uma matriz de correlação (matriz R). Essa matriz é representada por uma tabela que indica os coeficientes de conexão entre os fatores, conforme modelo representado pela Tabela 1.

Tabela 1 – Conexão entre fatores

	<b>Item 1</b>	<b>Item 2</b>	<b>Item 3</b>	<b>Item 4</b>
<b>Item 1</b>	1	0,75	0,23	0,87
<b>Item 2</b>	0,75	1	0,42	0,97
<b>Item 3</b>	0,23	0,42	1	0,56
<b>Item 4</b>	0,87	0,97	0,56	1

Fonte: Autor (2024).

Sendo assim, os dados são organizados inicialmente em  $p$  variáveis e  $n$  indivíduos, itens ou unidades experimentais.

Dado  $x_{jk}$  : medição da k-ésima variável na j-ésima unidade experimental, com  $j = 1, \dots, n$  e  $k = 1, \dots, p$ .

Os dados podem ser representados por meio da equação (5).

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{pmatrix}_{n \times p} \quad (5),$$

para se chegar na correlação entre a i-ésima e k-estima variáveis,  $i, k = 1, \dots, p; i \neq k$ , é dada por:

Covariância amostral é representada pela equação (6).

$$s_{ik} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_k) \quad (6).$$

Coeficiente de correlação Amostral é representada pela equação (7).

$$r_{ik} = \frac{s_{ik}}{\sqrt{s_i^2} \sqrt{s_k^2}} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{jk} - \bar{x}_k)^2}} \quad (7).$$

A matriz de correlações amostrais é representada pela equação (8).

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}_{n \times p} \quad (8),$$

sendo,  $-1 \leq r_{ik} \leq 1, \forall i, k = 1, \dots, p, i \neq k$ . Sendo que os componentes  $r_{ij}$  da matriz R são nomeados como fatores de correlação e a matriz R é conhecida como matriz de fatores de correlação.

Desta forma, obtém-se a matriz de correlação.

Embora a matriz de correlação forneça uma visão clara das relações lineares, possui limitações em dados com associações não lineares ou em dados de escala ordinal, que podem exigir coeficientes de correlação alternativos (como Spearman ou Kendall) para capturar melhor a relação entre variáveis (Rencher, 2002).

Ademais, o coeficiente de correlação de Pearson é sensível a *outliers* (valores extremos), que podem distorcer a interpretação da matriz de correlação. Embora o estudo da correlação tenha possibilitado uma análise valiosa, como foi o caso desta tese, a aplicação da técnica PCA permitiu aprofundar ainda mais a análise dos dados.

O coeficiente de correlação de Pearson varia entre -1 e 1. O sinal do coeficiente indica a direção da relação: um valor positivo sugere uma relação direta, enquanto um valor negativo indica uma relação inversa. O valor absoluto do coeficiente reflete a força dessa relação entre as variáveis. Quando a correlação é perfeita (-1 ou 1), isso significa que o valor de uma variável pode ser exatamente previsto a partir do valor da outra.

Segundo Vasconcelos (2015), o grau de correlação pode ser assim definido:

- $|r| \geq 0,70$  - Correlação Forte;
- $0,30 \geq |r| \geq 0,70$  - Correlação Moderada;
- $0 \geq |r| \geq 0,30$  - Correlação Fraca.

Após correlação, é feita a Medida de Adequação da Amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de Esfericidade de Bartlett (EB), que são essenciais para a avaliação da adequação dos dados antes de realizar a Análise Fatorial ou a Análise de Componentes Principais. Esses dois testes estatísticos ajudam a garantir que os dados são adequados para a identificação de fatores ou componentes subjacentes.

O KMO varia entre 0 e 1, onde valores mais próximos de 1 indicam que os dados são adequados para a análise. A interpretação dos valores do KMO é a seguinte:

- **KMO < 0,5**: Indica que a amostra não é adequada para análise fatorial.
- **KMO entre 0,5 e 0,7**: A adequação da amostra é considerada moderada.
- **KMO entre 0,7 e 0,8**: A amostra é considerada adequada.
- **KMO entre 0,8 e 0,9**: A amostra apresenta uma boa adequação.
- **KMO > 0,9**: A amostra é considerada excelente.

O cálculo do KMO é representado pela fórmula (9).

$$KMO = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p m_{ij}^2} \quad (9),$$

onde  $r_{ij}$  são os coeficientes de correlação e  $m_{ij}$  são os coeficientes de covariância (Kaiser, 1970; Hair *et al.*, 2014).

O teste de Esfericidade de Bartlett é utilizado para verificar a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, o que indicaria que as variáveis são independentes entre si. Um resultado significativo do teste (valor abaixo de 0,05) sugere que a matriz de

correlação não é uma matriz identidade e que as variáveis estão correlacionadas, o que é desejável para a análise fatorial. O teste estatístico é representado pela fórmula (10).

$$x^2 = -\left(n-1 - \frac{2p+5}{6}\right) \cdot \ln|R| \quad (10),$$

onde  $n$  é o número de observações,  $p$  é o número de variáveis,  $|R|$  é o determinante da matriz de correlação (Bartlett, 1950).

Depois de calcular a matriz de correlação e verificar se os dados são válidos para a técnica PCA, o próximo passo é determinar os autovalores e autovetores da matriz de correlação  $R$ , conforme equação (11).

$$R\mathbf{v} = \lambda\mathbf{v} \quad (11),$$

onde  $\mathbf{v}$  são os autovetores (direções dos componentes principais) e  $\lambda$  são os autovalores (que representam a variância explicada por cada componente).

Os autovalores e autovetores podem ser encontrados usando métodos como decomposição espectral ou a *Singular Value Decomposition* (Decomposição em Valores Singulares - *SVD* – sigla em inglês).

Para selecionar quantos componentes principais, é possível adotar alguns critérios, sendo Critério da Eigenvalue ou Critério de Kaiser, Gráfico de Scree, Proporção da Variância Explicada, os quais foram usados e comparados nesta tese.

A matriz dos componentes principais pode ser obtida multiplicando a matriz de dados padronizados pela matriz de autovetores. Com base em Green (2011), um conjunto de dados matriciais composto por objetos (amostras) e variáveis (atributos) foi representado utilizando a seguinte notação  $X = \{x_{ij}\}$ .

Com base em Smilde, Bro e Geladi (2004), é possível representar a matriz  $X$ , resultante da decomposição da Análise de Componentes Principais (PCA), pela fórmula (12).

$$X = A\Lambda B^t + E \quad (12),$$

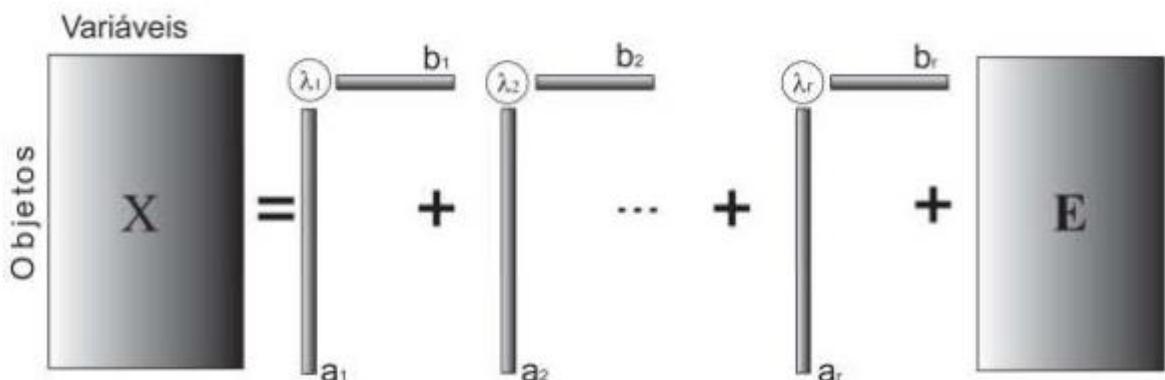
onde  $\Lambda = \{\lambda_r\}$  é a matriz diagonal que contém  $R$  autovalores significativos. Sendo que  $A = \{a_r\}$  representa uma matriz diagonal que abriga  $R$  autovalores significativos. A matriz  $A = \{a_{ir}\}$  contém  $R$  vetores coluna que são ortogonais entre si, os quais representam  $I$  componentes ou fatores. Por outro lado, a matriz  $B = \{b_{jr}\}$  também consiste em  $R$  vetores coluna ortogonais, abrangendo  $J$  componentes ou fatores (Vasconcelos, 2015).

As R colunas de A e B são designadas como componentes canônicas, e os fatores de carregamento associados a essas colunas indicam os pesos relativos das variáveis originais da matriz X em relação aos R componentes selecionados, com a condição de que  $R < \min(I, J)$ .

Com base em Vasconcelos (2015), é possível afirmar que a matriz  $E = \{e_{ir}\}$  agrupa informações que não possuem relevância para a análise, ou seja, representam dados indesejados, considerados como erro não pertinente ao modelo. Além disso, assume-se que a nova matriz de dados gerada pela transformação linear é de posto completo podendo ser interpretada pela equação (13).

$$x_{ij} = \sum_{r=1}^R \lambda_r a_{ir} b_{jr} + e_{ij} \quad (13).$$

Figura 3: Representação esquemática de decomposição dos dados no PCA



Fonte: Autor (2024).

Conforme mostrado na Figura 3, os dados presentes na matriz X são decompostos em uma soma de produtos externos relacionados a um autovalor, que reflete a importância dos autovetores correspondentes na representação dos dados originais.

Para melhor visualizar a afinidade entre os resultados, foram aplicados os métodos de classificação: o algoritmo K-means<sup>6</sup> e o método *elbow* (cotovelo)<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> O Algoritmo K-means é uma técnica de agrupamento baseada em partição que utiliza a distância entre as distâncias euclidianas entre os pontos como critério para formação de agrupamento (Joshi, 2022, tradução nossa).

<sup>7</sup> O método Elbow ou método cotovelo utiliza a soma das energias dos pontos e calcula-se a distância média centro do agrupamento (Joshi, 2022, tradução nossa).

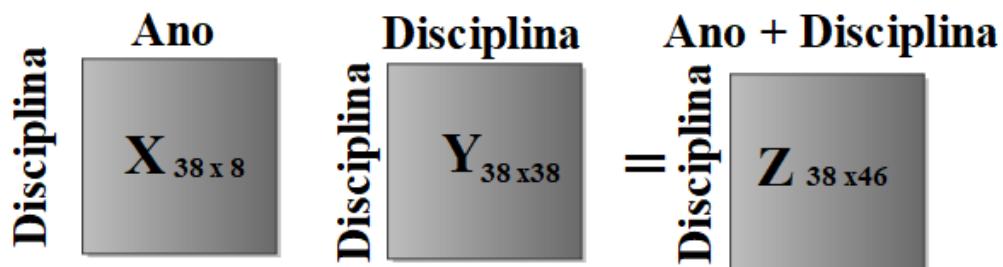
### 3.5.3 Análise do Acoplamento de Matrizes (CMF)

Após analisar pesquisas na área de modelagem estatística, buscou-se extrair mais informações de dois conjuntos de dados relacionados com o objeto estudado, tanto para confirmar o resultado como para tentar tirar novas conclusões sobre a análise.

Pensando nisso, foram utilizadas duas Matrizes no estudo: a Matriz de Aprovados ( $X_{38 \times 8}$ ) e a Matriz de Relacionamento Curricular ( $Y_{38 \times 38}$ ). Analisando o grafo mostrado na Figura 2, foi criada a matriz  $Y_{38 \times 38}$ .

Após a criação das duas matrizes, deu-se início a análise do seu acoplamento. Primeiramente, houve a intenção de apenas juntar as matrizes, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Acoplamento das matrizes X e Y



Fonte: Autor (2024).

A primeira matriz é composta pela quantidade de aprovados e a segunda é composta por 0 (zero) e 1 (um), que dizem respeito à relação de dependência entre as disciplinas e seus pré-requisitos.

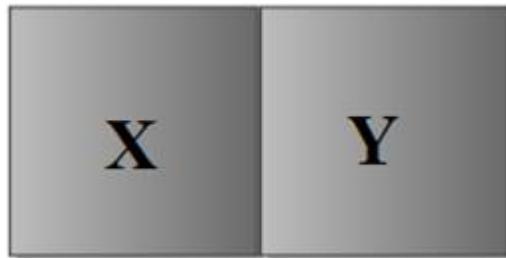
Ao analisar essa configuração, constatou-se que não seria frutífero, pois o acoplamento apresentaria informações de naturezas distintas em uma mesma matriz, o que inviabilizaria o acesso a dados consistentes ou não revelaria algumas relações implícitas da matriz.

A literatura registra a *Coupled Matrix Factorization* (Fatoração de Matriz Acoplada – *CMF* – sigla em inglês) para otimizar o acoplamento de matrizes (Acar; Kolda; Tamara; Dunlavy, 2011). Esse acoplamento é a fatoração coletiva das matrizes cujo objetivo é obter maiores informações sobre dados adicionais que não se consegue verificar na matriz e aproveitar as correlações entre diferentes conjuntos de dados.

Para se aplicar a função multiobjetiva, é necessário que as matrizes X e Y apresentem tamanhos  $I \times M$  e  $I \times L$ , respectivamente. As abordagens propostas nesses estudos são baseadas em algoritmos alternados que resolvem o problema de fatoração coletivo para uma

matriz fatorial por vez. Sendo assim, o acoplamento de matrizes pode ser representado pela figura 5.

Figura 5– Acoplamento das matrizes X e Y (CMF)



Fonte: Autor (2024).

Além disso, o acoplamento de matrizes foi escolhido, pois verificou-se que as interações entre os elementos não são lineares, ou seja, a mudança em um componente pode influenciar vários outros de maneiras complexas e interdependentes. Trabalhar com esses sistemas é essencial devido à sua prevalência e capacidade de modelar fenômenos complexos que os sistemas lineares não conseguem capturar adequadamente.

Para o acoplamento das Matrizes, utilizou-se a função multiobjetiva mostrada na equação (14).

$$f(U, V, W) = \|X - UV^T\|_F^2 + \|Y - UW^T\|_F^2 \quad (14).$$

Para encontrar as matrizes U, V e W foi usado o algoritmo *Alternating Least Squares* (Mínimos Quadrados Alternados - *ALS* – sigla em inglês).

O objetivo da aplicação do algoritmo ALS é decompor uma matriz de interações R em matrizes latentes de menor dimensão que representam, respectivamente, os vetores latentes dos usuários e dos itens de forma que  $R \approx U \cdot V^T$ . Essa técnica de otimização é geralmente recomendada por especialistas, principalmente para casos de fatoração de matrizes em sistemas de recomendação colaborativos.

O algoritmo ALS foi selecionado devido a sua capacidade de lidar de maneira eficaz com problemas de otimização em cenários de funções multiobjetivas, nos quais não é possível alcançar uma solução fechada ou exata. Esse algoritmo é amplamente utilizado em sistemas de recomendação e decomposição matricial, pois permite a exploração de grandes volumes de dados com a modelagem de interações complexas entre múltiplas variáveis.

No contexto desta tese, a escolha do ALS se justifica pela sua habilidade em gerar soluções aproximadas de alta qualidade, considerando múltiplos critérios simultaneamente, o que é particularmente relevante quando se trabalha com matrizes esparsas e dados incompletos.

Além disso, o ALS é eficiente na minimização de funções de erro, sendo adequado para situações em que a acurácia das soluções é crucial, mas não se espera uma solução analítica fechada. Tal característica torna o ALS uma ferramenta poderosa para a análise das relações entre as variáveis de interesse, permitindo uma abordagem robusta e escalável para os desafios enfrentados nesta tese.

Nesse sentido, o ALS se ajusta bem aos dados educacionais e tem crescido como uma abordagem eficiente para personalizar a aprendizagem e melhorar a experiência educacional dos estudantes (Kouřil *et al.*, 2021).

Por meio da função multiobjetiva (14), é possível chegar às matrizes U, V e W. A estratégia consiste em achar o ponto em que o gradiente da função multiobjetiva, representado na equação (15), é igual a zero e isso equivale a encontrar U, V e W que minimizem a função multiobjetiva.

O algoritmo segue os seguintes passos: inicialmente, gera-se uma matriz U com valores aleatórios. A matriz V é então calculada para minimizar a expressão  $\|X - UV^T\|_F^2$ . Nesse caso, V possui o mesmo número de colunas que U e o número de linhas igual da matriz X. Concomitantemente, a matriz W é determinada para minimizar  $\|Y - UW^T\|_F^2$ . Assim como V, W também possui o mesmo número de colunas que U, garantindo consistência na representação dos fatores latentes. O processo é repetido de forma iterativa, alternando a atualização das matrizes U, V e W, até que sejam obtidos valores ótimos que atendam aos critérios de convergência estabelecidos na equação (16).

No modelo ALS o número de colunas das matrizes estimadas (U, V, W) é determinado pelo número de fatores latentes escolhidos para o modelo. Este número não é inferido automaticamente, ele deve ser definido antes da execução do algoritmo com base nos requisitos do problema e nas características dos dados. Logo, o número de fatores latentes é uma decisão que pode ser definida testando diferentes valores para o número de fatores latentes e selecionar aquele que minimiza o erro em um conjunto de validação, de tal forma a satisfazer o limite da equação (16).

Na sequência, conserva-se a matriz U e se encontram as matrizes V e W, uma de cada vez, utilizando o mesmo processo.

Outro método seria obter U, V e W a partir do método do Gradiente igualado ao vetor nulo e o cálculo da matriz Hessiana, conforme a equação (15), podendo fazer ainda o cálculo de cada uma das matrizes de forma alternada.

$$GRAD_{U,V,W} \left\| X - UV^T \right\|_F^2 + \left\| Y - UW^T \right\|_F^2 = 0 \quad (15),$$

em que  $\mathbf{0}$  é o vetor nulo, ou seja, todos os seus componentes são iguais a zero.

O algoritmo ALS usa o critério de convergência por se tratar de um algoritmo iterativo, sendo que as matrizes estimadas vão se aproximando da matriz original, ou seja, a matriz verdadeira que se deseja estimar a cada iteração. Essas estimativas podem se aproximar ou se distanciar, pois não é algo linear. Porém, chegará a um ponto onde se aproximarão muito mais. Considerando que a função é quadrática, quando ela chegar no ponto mínimo dessa função, a tendência é ir se aproximando desse valor. Para tanto, usa-se o limite de interações para que haja uma convergência, de tal forma que o erro seja o mínimo possível.

Portanto, se há um pequeno erro associado e por isso se faz essa estimativa do instante atual ( $A_n$ ) com o instante anterior ( $A_{n-1}$ ). Continua-se o processo de calcular a norma de Frobenius quadrática dessas matrizes e compara-se com esse épsilon ( $\varepsilon$ ) colocar até se chegar no valor desejado na equação (16).

$$\left\| A_n - A_{n-1} \right\|_F^2 \leq 10^{-10} \quad (16).$$

Como condição de parada quando o épsilon for satisfeito. A critério próprio após análises usou-se  $\varepsilon \leq 10^{-10}$ .

A norma de Frobenius é uma das normas mais utilizadas para matrizes na álgebra linear devido à sua simplicidade e propriedades úteis. Dada uma matriz A de dimensão  $m \times n$ , é definida por  $\|A\|_F$  e definida pela equação (17).

$$\|A\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |a_{ij}|^2} \quad (17),$$

onde  $a_{ij}$  representa o elemento na  $i$ -ésima linha e  $j$ -ésima coluna da matriz A. A norma de Frobenius quadrática é representada pela equação (18).

$$\|A\|_F^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |a_{ij}|^2 \quad (18).$$

Quadro 5 - Pseudocódigo do Algoritmo ALS

```

Algoritmo:
while not “converged” do
    solve for V (for fixed U, W)
         $\min_{\mathbf{V}} \|\mathbf{X} - \mathbf{U}\mathbf{V}^T\|_F^2$ 
    solve for W (for fixed U, V)
         $\min_{\mathbf{W}} \|\mathbf{Y} - \mathbf{U}\mathbf{W}^T\|_F^2$ 
    solve for U (for fixed V, W)
         $\min_{\mathbf{U}} \|\mathbf{X} - \mathbf{U}\mathbf{V}^T\|_F^2 + \|\mathbf{Y} - \mathbf{U}\mathbf{W}^T\|_F^2$ 
end while

```

Fonte: Autor (2024).

Este capítulo descreveu o delineamento metodológico adotado no desenvolvimento desta tese, incluindo a caracterização em relação à abordagem, aos objetivos e à natureza da pesquisa. Ademais, houve especial atenção na descrição da construção da amostra, que abrangeu a seleção dos dados relevantes ao problema da pesquisa. Por fim, houve a explanação dos modelos teórico-metodológicos adotados nas análises dos dados encontrados, com ênfase nas técnicas estatísticas e algoritmos aplicados, garantindo a fidedignidade e a validade dos resultados.

## 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo está estruturado em quatro seções primárias, nas quais são apresentados os resultados e as discussões decorrentes da análise dos dados coletados nesta pesquisa. Na seção 4.1, será exposto o motivo que levou à decisão de realizar uma análise mais detalhada dos dados, bem como as razões pelas quais a pesquisa demandou informações mais profundadas para possibilitar uma análise minuciosa e alcançar resultados otimizados.

Na seção 4.2, serão apresentados os resultados do indicador NASS, que avalia as disciplinas com maior índice de insucesso em termos de reprovações, além de analisar o desempenho do curso de graduação em Engenharia Elétrica em Fortaleza em comparação com o CT e a UFC.

O aprofundamento das análises é descrito nas seções 4.3 e 4.4. Na seção 4.3, descreve-se a aplicação da técnica Análise de Componentes Principais (*PCA* – sigla em inglês) em uma matriz que representava a quantidade de alunos aprovados ao longo da série temporal 2015 a 2022. Em seguida, na seção 4.4, foi utilizado o método acoplamento de Matrizes (*CMF* – sigla em inglês) em duas matrizes, com o objetivo de examinar a relação entre a matriz quantidade de alunos e outra matriz criada a partir da dependência de pré-requisitos entre as disciplinas do curso.

### 4.1 Análise descritiva dos dados

Inicialmente, analisou-se a situação do desempenho acadêmico dos estudantes da Universidade Federal do Ceará (UFC) no lapso temporal de 2015 a 2022, com base nos dados fornecidos pelo Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA). A partir desses dados, foi possível extrair algumas informações, tais como: o período de entrada do aluno, verificar se os estudantes que concluíram o curso estão no tempo previsto, analisar se os alunos estão em situação de desistência, trancamento de matrícula ou conclusão do curso. Pode-se analisar a situação da UFC verificando a situação atual dos alunos, desde quando ingressaram, por exemplo, com dados a partir do ano de 2015. Analisando como foi sua entrada e qual a sua situação atual.

Os dados se encontram no site da própria UFC através do Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (Universidade Federal do Ceará, 2024d). Tais informações foram coletadas no dia 05 de março de 2022 e, posteriormente, organizadas em uma série temporal.

O *status* do aluno pode ter os seguintes valores: concluído, ativo, cancelado, trancado e N/A. Estes valores foram sistematizados na Tabela 2 e descritos a seguir.

- **Concluído:** Alunos que já terminaram o curso e já estão formados.
- **Ativo:** Aluno ainda está cursando, em tempo ou não, sua graduação.
- **Cancelado:** O aluno desistiu da sua graduação. Podendo ter somente saído ou transferido seu curso.
- **Trancado:** O aluno cancela a matrícula do atual semestre. O trancamento tem especificações para serem feitas, como Doença atestada pelo Serviço Médico da UFC; Mudança de domicílio para outra cidade; Exercício de emprego; Obrigação de ordem militar. Todos esses casos ocorridos após a matrícula.
- **N/A:** Não disponível ou sem resposta; Resposta indisponível no momento.

Tabela 2 – Situação dos alunos na UFC

Situação dos alunos que ingressaram na UFC por turma de entrada SISU - Coleta dos dados em Mar/2022							
ENGENHARIA ELÉTRICA / BACHARELADO							
Turma SISU >	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Trancado</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (1,03%)
		15					
<b>Concluído</b>	34 (34%)	(14,85%)	3 (2,97%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
		45	42	33	22		
<b>Cancelado</b>	52 (52%)	(44,55%)	(41,58%)	(33,33%)	(22,68%)	23 (23%)	2 (2,06%)
		41	55	65	74		94
<b>Ativo</b>	13 (13%)	(40,59%)	(54,46%)	(65,66%)	(76,29%)	75 (75%)	(96,91%)
<b>N/A</b>	1 (1%)	0 (0%)	1 (0,99%)	1 (1,01%)	1 (1,03%)	2 (2%)	0 (0%)
	100	101	101	99	97	100	
<b>TOTAL</b>	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	97 (100%)
ENGENHARIAS CT/UFC FORTALEZA							
Turma SISU >	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Trancado</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (0,3%)	0 (0%)	3 (0,42%)	3 (0,45%)
		234	153	35%			
<b>Concluído</b>	(33,38%)	(21,67%)	(5,06%)	6 (0,89%)	1 (0,15%)	0 (0%)	0 (0%)
		350	317	279	259	206	158
<b>Cancelado</b>	(49,93%)	(44,9%)	(40,32%)	(38,31%)	(30,98%)	(22,25%)	(2,09%)
		115	232	369	404	450	540
<b>Ativo</b>	(16,41%)	(32,86%)	(53,32%)	(59,76%)	(67,67%)	(76,06%)	(2,09%)
<b>N/A</b>	2 (0,29%)	4 (0,57%)	9 (1,3%)	5 (0,74%)	8 (1,2%)	9 (1,27%)	(96,57%)
	701	706	692	676	665	710	670
<b>TOTAL</b>	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)
Resp. Semestre	15° Sem	13° Sem	11° Sem	9° Sem	7° Sem	5° Sem	3° Sem

Fonte: Amaral *et al.* (2022).

A partir de uma análise inicial dos resultados, observa-se que mais de 50% dos alunos que ingressaram no curso de Engenharia Elétrica em 2015 desistiram do curso, enquanto 13% permanecem ativos, mas ainda não concluíram estando permanecendo sem estar no tempo de diplomação correto, e apenas 34% conseguiram finalizar o curso com sucesso. Quando se considera o mesmo período para o Centro de Tecnologia (CT) como um todo, os resultados percentuais são bastante semelhantes.

Essa situação é alarmante, especialmente porque, considerando que a análise foi realizada em março de 2022, os 13% de alunos ativos em 2015 já tiveram tempo suficiente para concluir sua graduação. Essa tendência se mantém nos anos subsequentes, apresentando um padrão similar.

Outro aspecto preocupante é o alto percentual de alunos que cancelaram suas matrículas, tanto nas Engenharias de forma geral quanto especificamente no curso de EE. Além disso, destaca-se o número reduzido de alunos que efetivamente concluíram o curso. Por exemplo, dos alunos que ingressaram em 2017, apenas 2,97% concluíram sua graduação em Engenharia Elétrica.

Embora o cenário ideal — com 0% de cancelamentos e trancamentos — seja utópico, estudos como este, focados na avaliação da situação educacional da universidade, são fundamentais para melhorar esses indicadores. Assim, busca-se não apenas promover uma formação mais eficiente e satisfatória para os discentes, mas também contribuir para aumentar a eficiência da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Após essa análise inicial, foi necessária uma análise mais robusta dos dados, que fora realizada por meio dos três estudos propostos nas próximas seções.

O primeiro passo é examinar o insucesso nas disciplinas, uma vez que altas taxas de reprovação podem ser um dos fatores que contribuem para a evasão.

#### **4.2 Número de Alunos sem Sucesso (NASS)**

Considerando que o insucesso é o complemento do sucesso, iniciou-se a análise do desempenho insatisfatório dos alunos nas disciplinas dos cursos de graduação do Centro de Tecnologia (CT), incluindo o curso de graduação em Engenharia Elétrica. A investigação foi realizada por meio da identificação do Número de Alunos Sem Sucesso (NASS), conforme equação (1) apresentada anteriormente no Capítulo 3 Metodologia.

O NASS possibilitou identificar quais disciplinas geram maior desafio ao rendimento estudantil e, consequentemente, impactam o desempenho regular dos cursos e das unidades acadêmicas. Outro aspecto relevante a destacar é que o NASS permitiu relacionar a

oferta de disciplinas em cada semestre letivo com a correspondente matrícula dos estudantes naquelas disciplinas, o que viabiliza o acompanhamento do percurso do estudante de graduação rumo à obtenção do diploma.

Por meio do cálculo do NASS, foi possível analisar todos os componentes curriculares, os quais englobam as disciplinas, os módulos e as atividades dos cursos de graduação da UFC. Ademais, o NASS indica toda projeção curricular dos cursos de graduação da UFC.

O NASS permitiu verificar a situação dos cursos em todos os semestres letivos e indicar se os estudantes de graduação estavam atrasados em seu curso, pois a taxa de insucesso dificulta a conclusão do curso no prazo estabelecido pela universidade.

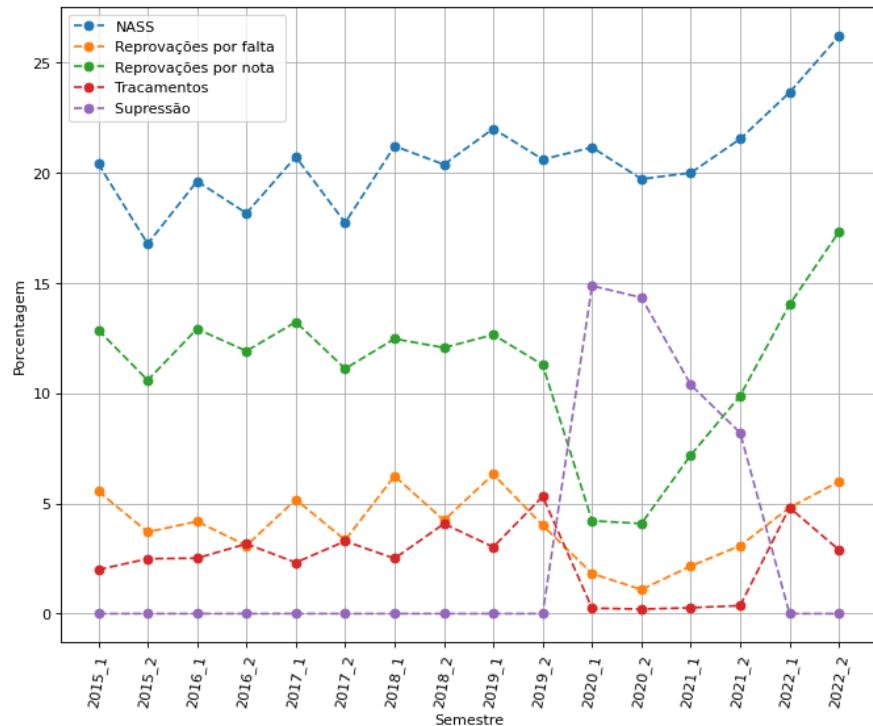
Outra evidência apontada pelo NASS foi a existência de muitas disciplinas com alto índice de insucesso na condição de pré-requisitos para outras disciplinas, ou seja, o estudante só conseguiria efetuar matrícula na disciplina do semestre seguinte se tivesse sido aprovado nas disciplinas pré-requisitos ofertadas no(s) semestre(s) anterior(es).

Essa variável é importante, pois permite verificar a situação dos cursos em todos os semestres letivos. O NASS também indica se os estudantes estão atrasados em seu curso, pois a taxa de insucesso dificulta a conclusão do curso no prazo estabelecido pela universidade.

Conforme explanado Capítulo 3 Metodologia, o banco de dados acessado nesta pesquisa contabiliza o insucesso a partir da oferta anual das disciplinas. Entretanto, a primeira oferta de disciplinas para os cursos do Centro de Tecnologia é anual. Desse modo, os semestres letivos ímpares como por exemplo, 2015.1, 2016.1, 2017.1 têm uma oferta maior de disciplinas.

Com o cálculo da equação (2) nas disciplinas, foi possível chegar à média de insucesso do CT, conforme apresentado no Gráfico 1.

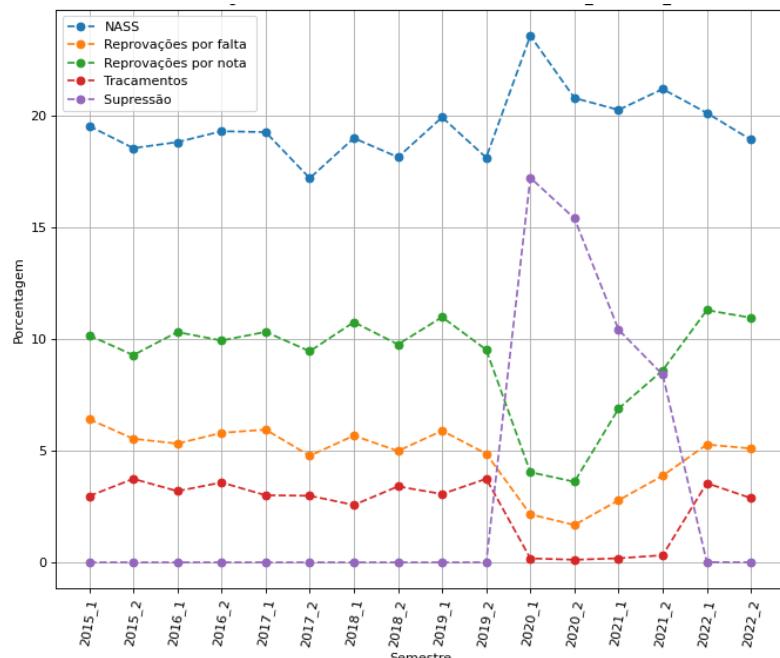
Gráfico 1 – Porcentagem dos dados de insucesso do CT da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2



Fonte: Autor (2024).

Pode-se analisar também os dados da UFC no Gráfico 2.

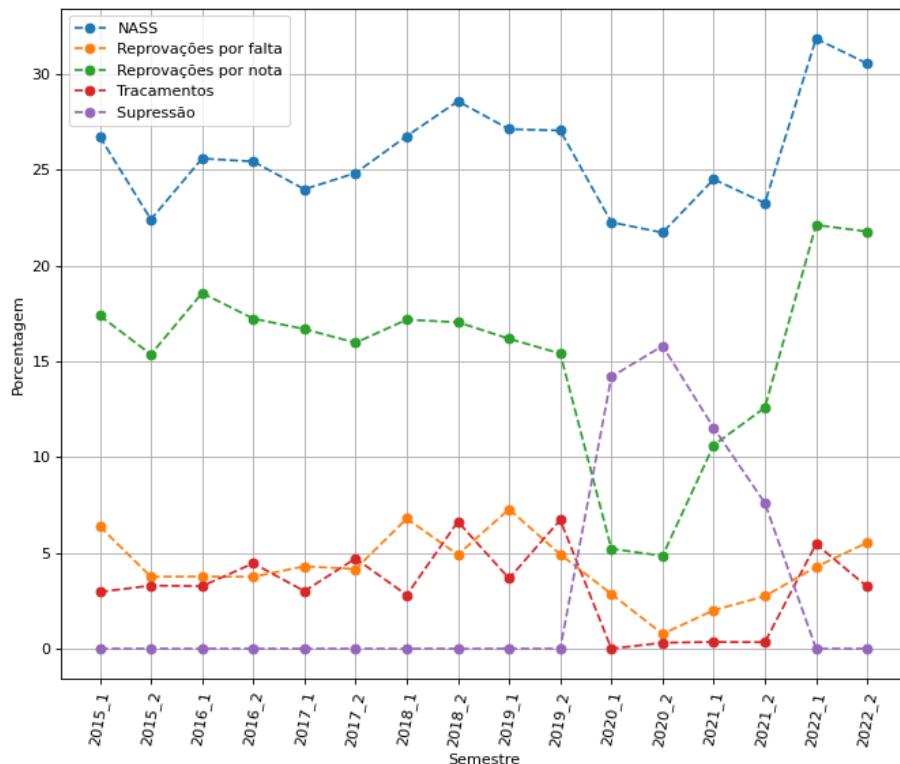
Gráfico 2 – Porcentagem dos dados de insucesso da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2



Fonte: Autor (2024).

Também pode-se chegar na mesma análise no curso de graduação em Engenharia Elétrica em Fortaleza, conforme mostrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Porcentagem dos dados de insucesso do Curso de Engenharia Elétrica da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2



Fonte: Autor (2024).

O Gráfico 1 mostra que até o semestre letivo 2021.1, o NASS girava em torno de 20% do total de estudantes matriculados nos cursos de graduação do CT. A partir de 2021.2, os percentuais crescem de forma quase linear, ultrapassando 25% o que nunca havia ocorrido na série temporal estudada.

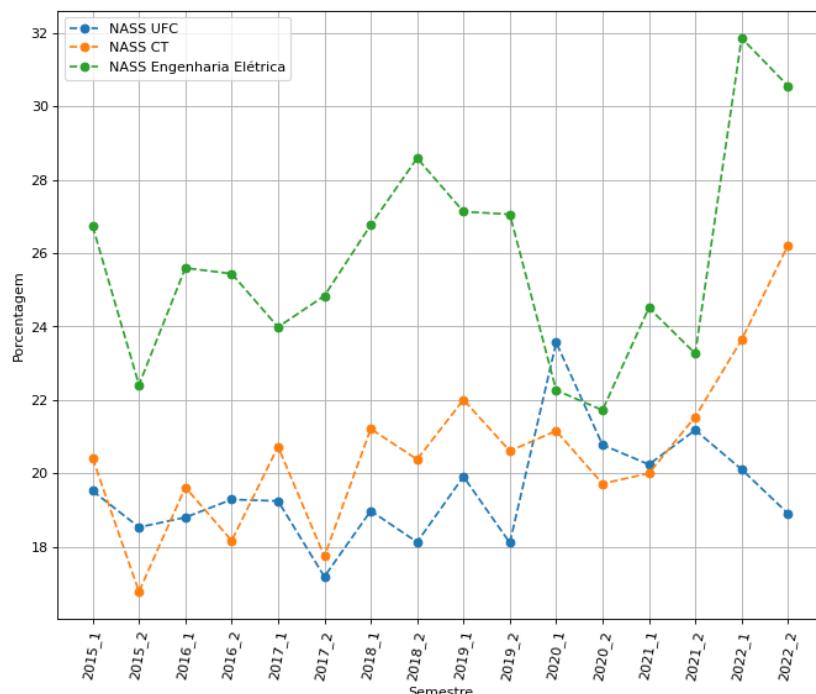
Apesar da supressão ter sido um mecanismo empregado pela administração superior da UFC para atenuar os prejuízos à aprendizagem durante a pandemia de COVID-19, houve um aumento considerável nas reprovações por nota a partir do semestre 2022.1, quando foi encerrado o instituto da supressão. Logo, pode-se perceber que a supressão não é um fator determinante para o crescimento do NASS.

Pode-se perceber que os Gráficos 1 e 3 têm oscilações parecidas, menos em 2022.2, que o curso de Engenharia Elétrica da UFC em Fortaleza teve uma queda no NASS. Analisando o gráfico, percebeu-se uma queda considerável no número de trancamentos, bem como uma redução na Reprovação por falta.

Após a pandemia de COVID-19, em 2022, o crescimento nas reprovações por nota passou a ser um fator considerável no CT, pois apresentou valores mais elevados do que os demais anos. Percebendo assim um distanciamento dos anos anteriores, que envolvem COVID-19 ou não. Embora o curso de EE tenha apresentado uma queda na pandemia de COVID-19, isso pode indicar o efeito da Supressão, e não a melhoria da taxa de sucesso dos estudantes necessariamente. Outro fator é o crescimento do percentual do NASS no período pós-pandemia de COVID-19.

O Gráfico 4 reúne a análise dos três gráficos anteriores para otimizar a comparação dos grupos UFC, CT, e da disciplina de Engenharia Elétrica.

Gráfico 4 – Porcentagem dos dados de insucesso do Curso de Engenharia Elétrica, do CT e da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2

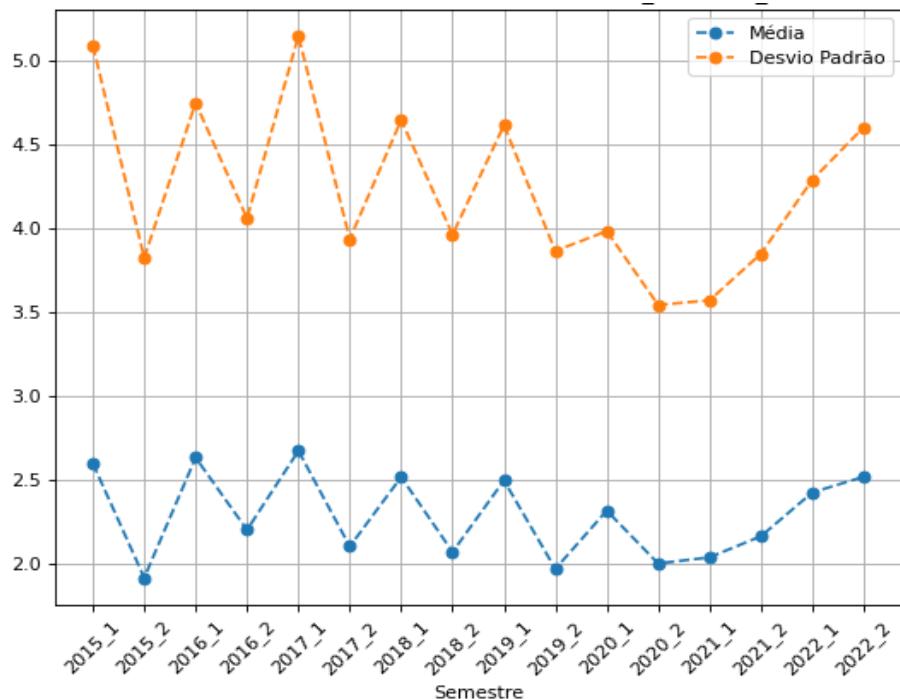


Fonte: Autor (2024).

Fazendo um gráfico somente com esses NASS, percebe-se claramente o distanciamento do curso de EE do CT e da UFC. Que em 2022.2 outros cursos são responsáveis pelo aumento do NASS no CT e que ainda falta muito para se chegar ao padrão do NASS que o curso de EE tinha antes do período pandêmico. O que não se pode falar da UFC, que aos poucos volta ao seu padrão de NASS. Algo preocupante fica no CT, que até diminuiu o NASS em 2020.1, porém aumentou nos semestres seguintes e em 2022.2 teve um aumento, ao contrário dos demais.

Sendo assim, foi necessário aprofundar a análise dos dados por meio do cálculo da média e do desvio padrão dos valores do NASS de todas as disciplinas, como mostra o Gráfico 5.

Gráfico 5 – Média e desvio padrão do NASS da UFC nos semestres de 2015.1 a 2022.2

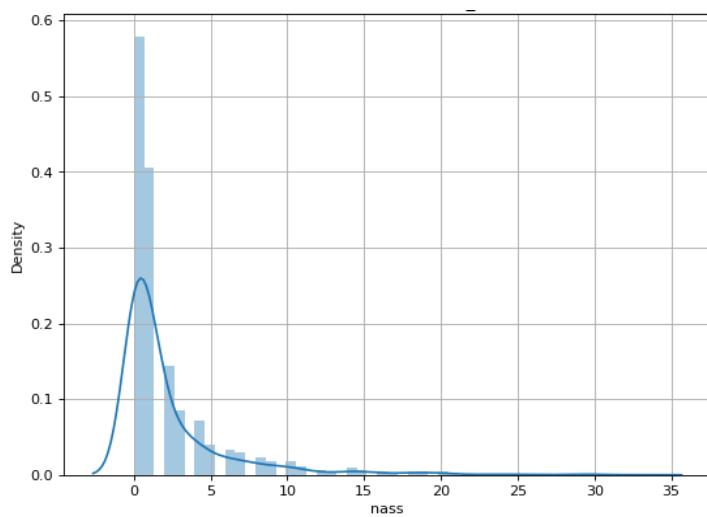


Fonte: Autor (2024).

Considerando que o desvio padrão apresentou um valor elevado e distante da média, é possível inferir que algumas disciplinas apresentam taxa de insucesso bem maior do que outras e que são responsáveis pelo CT ter uma taxa de insucesso tão elevada.

Ampliando a análise, é possível relacionar o NASS com a Densidade de NASS. Selecionando-se o semestre letivo 2020.1 como amostra, é possível verificar tal relação no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Histograma de densidade do NASS CT 2020.1



Fonte: Autor (2024).

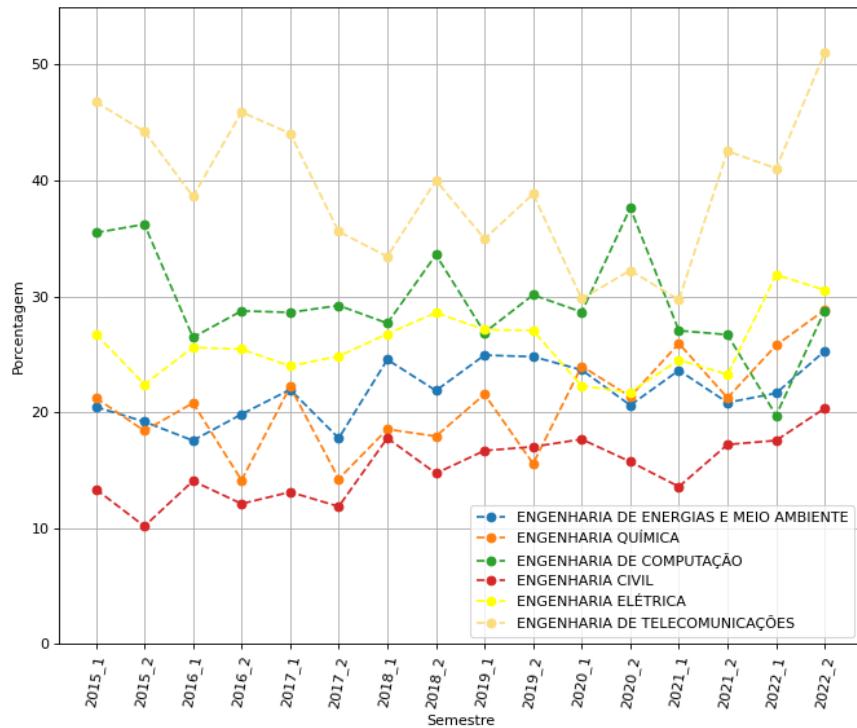
O Gráfico 6 mostra que a quantidade de disciplinas que não apresenta insucesso (NASS igual a 0) ou que apresenta um pequeno valor de insucesso (NASS igual a 1 e 2) é extremamente grande. Tal fato é semelhante em todos os semestres letivos da série temporal.

O Gráfico 4 também mostra um dado surpreendente, o fato de existir muitas disciplinas sem reprovações. Além disso, é curioso que os altos valores do NASS se concentrem em poucas disciplinas, conforme exemplificado na Tabela 2, apesar de muitas disciplinas não apresentarem 100% de aprovação.

A partir dessa constatação, foi necessário analisar detalhadamente o CT para verificar se a unidade acadêmica possuía altos valores de NASS em um curso de graduação específico ou se esse padrão se mantinha em todos os cursos.

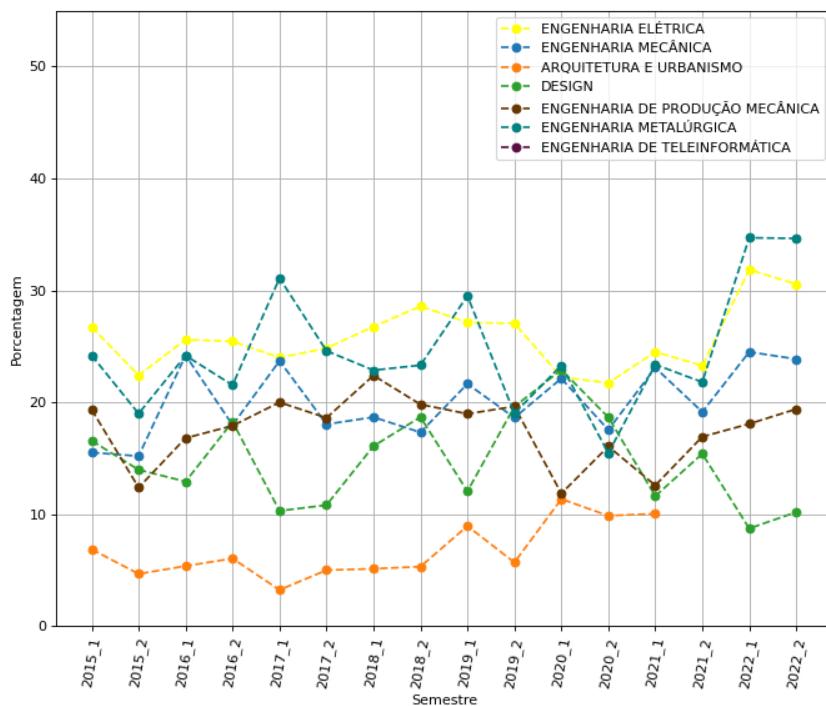
Para se ter uma análise de como o Curso de EE está em relação aos demais cursos do próprio CT, elaborou-se um gráfico comparativo analisando o NASS do curso de EE com os demais cursos. Como o CT tem muitos cursos, a apresentação dos dados foi dividida nos gráficos 7 e 8.

Gráfico 7 – Porcentagem dos dados de insucesso de alguns cursos do CT nos semestres de 2015.1 a 2022.2.



Fonte: Autor (2024).

Gráfico 8 – Porcentagem dos dados de insucesso de alguns cursos do CT nos semestres de 2015.1 a 2022.2.



Fonte: Autor (2024).

Por meio do Gráfico 7, é possível verificar o quanto alto é o NASS do curso de Engenharia de Telecomunicações, chegando a ultrapassar percentualmente o dobro do NASS do próprio CT em alguns semestres. Também se percebe que o curso de EE é um dos que tem maiores NASS analisando os dois gráficos, isso demonstra a influência do NASS da disciplina de Engenharia Elétrica no alto NASS do CT.

O curso de Engenharia de Computação também apresenta NASS maior do que o próprio CT. Sendo assim, pode-se perceber que existem muitos cursos acima da média da UFC. Portanto, ao invés de analisar os cursos, é necessário avaliar as disciplinas para verificar se a problemática se dá nas disciplinas comuns aos cursos do CT ou se acontece em disciplinas isoladas.

Inicialmente, foi avaliada a quantidade de disciplinas do CT entre os 60 maiores NASS da UFC. A Tabela 3 apresenta a quantidade de disciplinas do CT que figuram entre os 60 maiores NASS da UFC.

Tabela 3 – A quantidade de disciplinas do CT entre os 60 maiores NASS da UFC

Semestre	Quantidade	Total	Percentual
2015.1	14	60	23,33%
2015.2	10	60	16,67%
2016.1	10	60	16,67%
2016.2	6	60	10,00%
2017.1	12	60	20,00%
2017.2	8	60	13,33%
2018.1	13	60	21,67%
2018.2	7	60	11,67%
2019.1	8	60	13,33%
2019.2	9	60	15,00%
2020.1	7	60	11,67%
2020.2	10	60	16,67%
2021.1	10	60	16,67%
2021.2	8	60	13,33%
2022.1	6	60	10,00%
2022.2	14	60	23,33%
Total	152	960	15,83%
Média	9,5		
Desvio Padrão	2,633122354		

Fonte: Autor (2024).

É importante enfatizar que de todas as disciplinas da universidade, tem-se uma média de 15,83% disciplinas (9,5 disciplinas por semestre) pertencentes ao CT, ou seja, um número significativo de disciplinas impactando no NASS da UFC.

Ao selecionar os maiores NASS da UFC, verifica-se que as disciplinas do CT são as que aparecem frequentemente ao longo da série temporal. Dentre as disciplinas com maior NASS, praticamente todas pertencem ao núcleo básico, como por exemplo: Álgebra Linear,

Programação Computacional para Engenharia, Fundamentos de Cálculo para Engenharia, Fundamentos de Física para Engenharia, Fundamentos de Química, entre outras.

Ampliando a análise demonstrada na Tabela 3, analisou-se todas as 60 disciplinas com maiores NASS do CT em cada semestre da série temporal. A Tabela 4 apresenta uma amostra composta de um recorte das 30 disciplinas com maiores NASS no semestre 2015.1.

Tabela 4 – As disciplinas do CT com maiores NASS no semestre 2015.1

	Disciplinas e Curso	NASS	TOTAL ALUNOS
1	FUNDAMENTOS DE QUÍMICA PARA EEMA-ENGENHARIA DE ENERGIAS E MEIO AMBIENTE	53	76
2	FUNDAMENTOS DE QUÍMICA PARA EEMA-ENGENHARIA DE ENERGIAS E MEIO AMBIENTE	50	71
3	CÁLCULO FUNDAMENTAL-ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES	44	58
4	ELETROMAGNETISMO BÁSICO-ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO	35	39
5	CÁLCULO FUNDAMENTAL-ENGENHARIA QUÍMICA	34	77
6	FUNDAMENTOS DE CÁLCULO PARA EEMA-ENGENHARIA DE ENERGIAS E MEIO AMBIENTE	33	68
7	ELETROMAGNETISMO BÁSICO-ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO	32	48
8	MECÂNICA PARA ENGENHARIA CIVIL I-ENGENHARIA CIVIL	30	51
9	SERIES E EQUACOES DIFERENCIAIS-ENGENHARIA ELÉTRICA	29	54
10	ELETROMAGNETISMO-ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA	28	45
11	CÁLCULO FUNDAMENTAL-ENGENHARIA METALÚRGICA	28	67
12	FUNDAMENTOS DE FÍSICA PARA EEMA-ENGENHARIA DE ENERGIAS E MEIO AMBIENTE PROGRAMAÇÃO COMPUTACIONAL PARA EEMA-ENGENHARIA DE ENERGIAS E MEIO	28	65
13	AMBIENTE	28	66
14	FUNDAMENTOS DE FÍSICA PARA EEMA-ENGENHARIA DE ENERGIAS E MEIO AMBIENTE	27	63
15	CÁLCULO VETORIAL APLICADO-ENGENHARIA CIVIL	27	42
16	FÍSICA FUNDAMENTAL-ENGENHARIA QUÍMICA	27	67
17	FUNDAMENTOS DE CÁLCULO PARA EEMA-ENGENHARIA DE ENERGIAS E MEIO AMBIENTE	26	57
18	FENOMENOS DE TRANSFERENCIA-ENGENHARIA METALÚRGICA	25	47
19	CÁLCULO FUNDAMENTAL-ENGENHARIA ELÉTRICA	25	60
20	CÁLCULO FUNDAMENTAL-ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA INTRODUÇÃO AO ENGENHARIA E METODOLOGIA CIENTÍFICA-ENGENHARIA DE	25	52
21	TELECOMUNICAÇÕES PROGRAMAÇÃO COMPUTACIONAL PARA EEMA-ENGENHARIA DE ENERGIAS E MEIO	24	65
22	AMBIENTE	24	66
23	FÍSICA FUNDAMENTAL-ENGENHARIA METALÚRGICA	24	59
24	CÁLCULO FUNDAMENTAL-ENGENHARIA ELÉTRICA	24	48
25	CÁLCULO FUNDAMENTAL-ENGENHARIA CIVIL	22	66
26	CÁLCULO FUNDAMENTAL-ENGENHARIA CIVIL	22	46
27	MECÂNICA-ENGENHARIA METALÚRGICA	22	51
28	MÁQUINAS DE FLUXO-ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA	21	36
29	GESTÃO DE CUSTOS-ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA	21	64
30	CÁLCULO FUNDAMENTAL-ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO	21	53

Fonte: Autor (2023).

Por meio das análises, foi possível constatar que as disciplinas que mais aparecem e apresentam NASS alto são as disciplinas do primeiro semestre (núcleo básico).

Por mais que a análise seja para o curso de EE, é importante analisar todo os cursos de graduação do CT, não só porque o curso de EE está inserido nele, mas por saber que os cursos ofertam disciplinas de mesma grade.

A Tabela 5 apresenta as disciplinas da estrutura curricular do curso de Engenharia Elétrica com maior NASS no semestre 2018.1.

Tabela 5 – As disciplinas do curso de EE com maiores NASS no semestre 2018.1

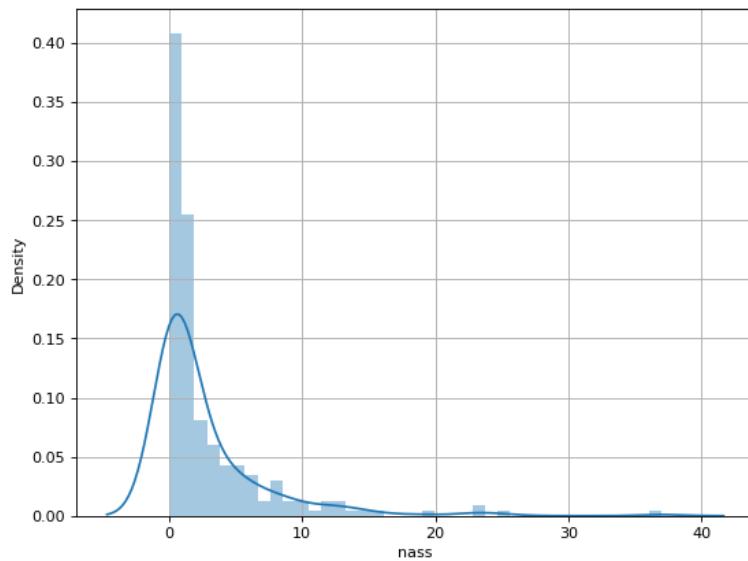
	<b>Disciplina e Curso</b>	<b>NASS</b>	<b>Total de Alunos</b>	<b>Percentual de insucesso</b>
1	ELETROMAGNETISMO APLICADO - ENGENHARIA ELÉTRICA	37	48	77
	FUNDAMENTOS DE CÁLCULO PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	25	46	54
2	FUNDAMENTOS DE CÁLCULO PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	23	50	46
3	FÍSICA FUNDAMENTAL - ENGENHARIA ELÉTRICA	23	48	48
4	INTRODUÇÃO A ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	19	112	17
5	ENGENHARIA ECONÔMICA - ENGENHARIA ELÉTRICA	16	54	30
6	FÍSICA FUNDAMENTAL - ENGENHARIA ELÉTRICA	15	46	33
7	MÉTODOS NUMÉRICOS APLICADOS A ENGENHARIA ELÉTRICA - ENGENHARIA ELÉTRICA	13	18	72
8	PROGRAMAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	13	49	27
9	ENGENHARIA ECONÔMICA - ENGENHARIA ELÉTRICA	12	48	25
10	PROGRAMAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	12	52	23
11	MECÂNICA DOS MATERIAIS - ENGENHARIA ELÉTRICA	12	41	29
12	CÁLCULO VETORIAL APLICADO - ENGENHARIA ELÉTRICA	11	20	55
13	QUÍMICA GERAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	10	19	53
14	QUÍMICA GERAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	10	19	53
15	ENGENHARIA DOS MATERIAIS - ENGENHARIA ELÉTRICA	10	24	42
16	QUÍMICA GERAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	9	20	45
17	SISTEMAS LINEARES - ENGENHARIA ELÉTRICA	9	39	23
18	MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E INST. ELÉTRICAS PREDIAIS - ENGENHARIA ELÉTRICA	8	12	67
19	ELETROMAGNETISMO APLICADO - ENGENHARIA ELÉTRICA	8	50	16
20	SERIES E EQUACOES DIFERENCIAIS - ENGENHARIA ELÉTRICA	8	12	67
21	SISTEMAS LINEARES - ENGENHARIA ELÉTRICA	8	22	36
22	FÍSICA EXPERIMENTAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	8	20	40
23	MECÂNICA DOS MATERIAIS - ENGENHARIA ELÉTRICA	8	43	19
24	FÍSICA EXPERIMENTAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	7	19	37
25	FÍSICA EXPERIMENTAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	7	20	35
26	QUÍMICA GERAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	7	11	64
27	QUÍMICA GERAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	6	8	75
28	QUÍMICA GERAL PARA ENGENHARIA - ENGENHARIA ELÉTRICA	6	19	32
29	MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E INST. ELÉTRICAS PREDIAIS - ENGENHARIA ELÉTRICA	6	12	50
30				

Fonte: Autor (2024).

Analisando a Tabela 5, percebe-se que o padrão continua, onde a maior parte das disciplinas são as disciplinas do núcleo básico e se repetem mais de uma vez, visto que elas são ofertadas mais de uma vez em cada semestre.

O mesmo acontece quando se analisa o histograma com a densidade do NASS nas disciplinas. O padrão se repete em praticamente todos os semestres, onde o NASS tem maior densidade nos primeiros semestres como mostra o Gráfico 9.

Gráfico 9 – Histograma de densidade do NASS da Engenharia Elétrica 2018.1



Fonte: Autor (2024).

Para ter uma análise ainda mais detalhada sobre o curso de EE do CT, pegou-se as 60 disciplinas ofertadas com maiores NASS de cada semestre de 2015.1 a 2022.2 e depois foi analisado a quantidade de semestres que elas apareceram e a quantidade de aparições ao todo, visto que uma disciplina pode ser ofertada mais de uma vez por semestre, na forma de mais de uma turma. Os resultados dessas análises são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Aparições com os 60 maiores NASS por semestre das disciplinas do curso de Engenharia Elétrica

Disciplinas	Quantidade de Semestres	Quantidade de aparições
MICROPROCESSADORES	8	47
ELETRÔNICA DIGITAL	8	37
QUÍMICA GERAL PARA ENGENHARIA	6	37
ELETRÔNICA ANALÓGICA	8	31
ÁLGEBRA LINEAR	11	30
VARIÁVEL COMPLEXA	8	30
CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS	8	28
FUNDAMENTOS DE ADMINISTRAÇÃO	12	27
PROGRAMAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ENGENHARIA	13	27
ENGENHARIA DOS MATERIAIS	16	24
MECÂNICA DOS MATERIAIS	15	24
FÍSICA EXPERIMENTAL PARA ENGENHARIA	7	23
MÉTODOS NUMÉRICOS APLICADOS A ENGENHARIA ELÉTRICA	8	23
PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA	12	23
ELETRÔNICA DE POTÊNCIA	7	21
MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E INST. ELÉTRICAS PREDIAIS	8	20

ENGENHARIA ECONÔMICA	11	19
FUNDAMENTOS DA ECONOMIA	11	19
CÁLCULO VETORIAL APLICADO	8	17
CIRCUITOS ELÉTRICOS I	8	17
PRINCÍPIOS DE COMUNICAÇÕES	10	16
SISTEMAS LINEARES	8	16
ELETROMAGNETISMO APLICADO	8	15
FÍSICA FUNDAMENTAL	7	15
GERACAO, TRANSMISSAO E DIST. DE ENERGIA ELÉTRICA	8	15
HIGIENE INDUSTRIAL E SEGURANÇA DO TRABALHO	9	15
SERIES E EQUACOES DIFERENCIAIS	8	15
CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA	8	13
INSTRUMENTAÇÃO, MEDIDAS E INSTALACOES ELÉTRICAS	7	13
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL APLICADA	9	13
INTRODUÇÃO A ENGENHARIA	8	13
PRINCÍPIOS DE FÍSICA MODERNA	13	13
SINAIS E SISTEMAS	10	13
MÉTODOS NUMÉRICOS PARA ENGENHARIA	7	12
PROTECAO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTENCIA	11	11
CIRCUITOS ELÉTRICOS II	5	10
CIRCUITOS ELETRÔNICOS	4	10
ELEMENTOS DE FENOMENOS DE TRANSPORTE	7	10
ENGENHARIA AMBIENTAL	5	10
ÁLGEBRA APLICADA I	7	9
FUNDAMENTOS DE CÁLCULO PARA ENGENHARIA	4	9
INSTALACOES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS	6	9
MATEMÁTICA APLICADA	6	9
TÉCNICAS AVANÇADAS EM ELETRÔNICA DIGITAL	6	9
DESENHO PARA ENGENHARIA	6	8
INTRODUÇÃO AS VARIAVEIS COMPLEXAS	7	8
CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL III	7	7
CÁLCULO FUNDAMENTAL	3	7
CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SOCIEDADE	6	7
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	7	7
PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	7	7
TEORIA DO CONTROLE DISCRETO	6	6
ELETRÔNICA INDUSTRIAL	5	5
QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA	5	5
ACIONAMENTOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS	4	4
ANÁLISE DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTENCIA	4	4
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	4	4
PRINCÍPIOS DE CONVERSÃO ELETROMECÂNICA	4	4
ANÁLISE APLICADA I	3	3
CIRCUITOS ELÉTRICOS	2	3

DIFERENÇA E ENFRENTAMENTO PROFISSIONAL NAS DESIGUALDADES SOCIAIS	3	3
ELETROMAGNETISMO BÁSICO	3	3
INTROD. AS EQUAÇOES DIFER. ORDINARIAS	3	3
MÁQUINAS ELÉTRICAS	2	3
PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA PARA ENGENHARIA	3	3
QUÍMICA GERAL	2	3
SISTEMAS MICROPROCESSADOS	3	3
TÉCNICAS AVANÇADAS EM MICROPROCESSADORES	3	3
TRANSMISSAO DE ENERGIA ELÉTRICA	3	3
ESTRUTURA E USO DA LÍNGUA INGLESA I	2	2
FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA	2	2
IDENTIFICACAO DE SISTEMAS	2	2
MÉTODOS NUMÉRICOS PARA ENGENHARIAS DE ENERGIAS E MEIO AMBIENTE	1	2
PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS	2	2
REDES DE COMPUTADORES	2	2
REDES DE COMPUTADORES I	2	2
ANÁLISE E CONTROLE DE SISTEMAS NÃO LINEARES	1	1
CÁLCULO VETORIAL PARA ENGENHARIA	1	1
EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA	1	1
ESTRUTURA E USO DA LÍNGUA FRANCESA I	1	1
FUNDAMENTOS DE BANCO DE DADOS	1	1
FUNDAMENTOS DE CÁLCULO PARA ENGENHARIAS - SEMIPRESENCIAL	1	1
INSTALACOES ELÉTRICAS HOSPITALARES	1	1
LÍNGUA BRASILEIRA DE SINAIS - LIBRAS	1	1
PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS	1	1
PROGRAMAÇÃO PARA JOGOS I	1	1
SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES VIA RÁDIO	1	1
SUPERVISÃO E CONT. DE SIST. ELÉTRICOS DE POTENCIA	1	1
<u>TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM CORRENTE CONTÍNUA</u>	1	1

Fonte: Autor (2024).

Essa análise permite identificar as disciplinas que se mantiveram recorrentes ao longo dos semestres avaliados. Um dado surpreendente foi verificar que a disciplina de Microprocessadores se destaca como a disciplina com maior número de aparições entre aquelas associadas aos 60 maiores NASS.

Embora as disciplinas do núcleo básico tenham predominado ter os maiores NASS, outras disciplinas demonstraram elevada recorrência. Exemplos incluem Eletrônica Digital, Eletrônica Analógica, Controle de Sistemas Dinâmicos, entre outras.

Outro aspecto digno de nota é a disciplina de Engenharia dos Materiais, que esteve presente nos 60 maiores NASS em todos os 16 semestres analisados. Esse fato chama atenção, assim como outras disciplinas que também apresentaram uma frequência significativa.

Para obter uma análise mais detalhada e identificar possíveis padrões ou resultados ainda não explorados, será realizada uma análise multivariada utilizando a técnica de Análise de Componentes Principais (PCA). Essa abordagem permitirá destacar relações ocultas entre as variáveis e simplificar a interpretação dos dados sem perder informações relevantes.

#### 4.3 Análise de Componentes Principais (PCA)

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da análise das disciplinas que são pré-requisitos para as disciplinas subsequentes do curso de graduação em Engenharia Elétrica do CT da UFC. Para tanto, foram empregados grafos para detalhar a estrutura curricular do curso. Ademais, foram aplicadas técnicas de processamento de informação por meio da matriz de correlação e decomposição PCA geradas em uma matriz com a quantidade de aprovações ou sucessos das 38 disciplinas por ano, em uma série temporal de 8 anos (2015 a 2022). Por fim, as informações em formato numérico, obtidas através das duas técnicas citadas acima, foram examinadas a fim de se beneficiar da complementaridade sobre o mesmo conjunto de dados.

A Figura 2 explicita a incidência de disciplinas pertencentes a semestres mais avançados, demandando a prévia integralização de disciplinas pré-requisito vinculadas aos semestres iniciais. A título de exemplo, destaca-se a disciplina Fundamentos da Economia (D35), do 8º semestre, cujos pré-requisitos são as disciplinas Cálculo Fundamental (D1) e Probabilidade e Estatística (D3), ambas do 1º ano do curso. Essa relação é também evidenciada na disciplina Ciências, Tecnologia e Sociedade (D33), pertencente ao 7º semestre, que tem como pré-requisito a disciplina Introdução à Engenharia (D9), pertencente ao 1º ano. A constatação de que disciplinas pré-requisito estão distantes de algumas disciplinas subsequentes suscita reflexões pedagógicas quanto a esta lógica na proposição de uma cadeia de conhecimentos técnicos e teóricos.

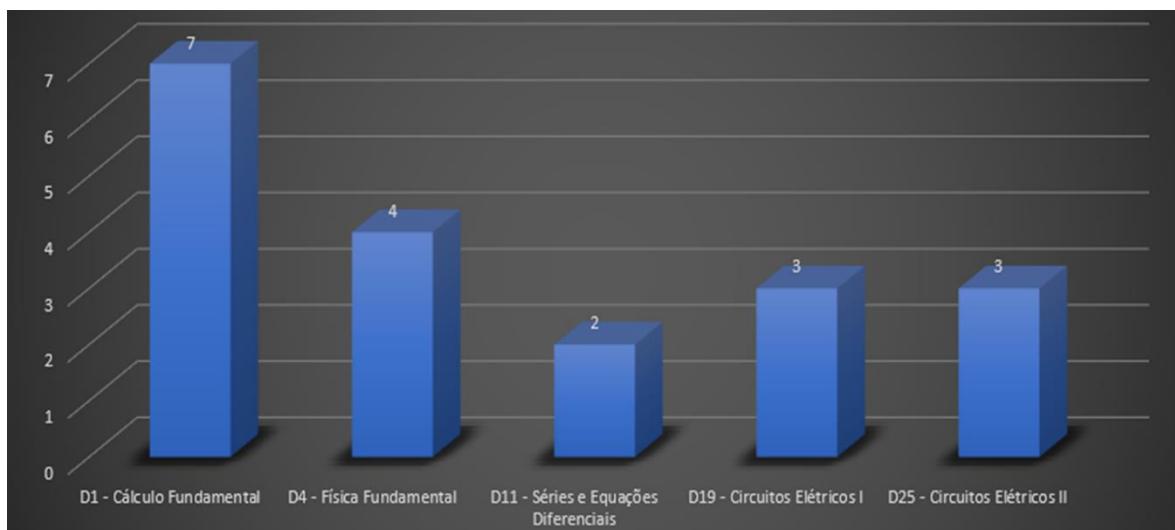
Adicionalmente, observa-se a ausência de pré-requisitos em diversas disciplinas do 8º semestre, o que poderia viabilizar, em uma reflexão preliminar, a redistribuição dessas disciplinas para os semestres iniciais, com o propósito de mitigar a sobrecarga inicial dos estudantes, e eventualmente alterar em forma e conteúdo as mesmas e outras disciplinas.

A Figura 2 proporciona, ainda, uma visualização elucidativa dos caminhos que os estudantes devem percorrer durante sua trajetória acadêmica, delineando a necessidade de integralização de disciplinas pré-requisito para a consecução da diplomação. A título de exemplo, menciona-se a seguinte sequência: Cálculo Fundamental (D1) → Séries e Equações Diferenciais (D11) → Circuitos Elétricos I (D19) → Eletrônica Analógica (D24) → Eletrônica

de Potência (D28) → Máquinas Elétricas (D32). Nesse contexto, é crucial notar que qualquer reprovação ao longo desse percurso compromete o cronograma estabelecido para a conclusão do curso, aumentando os riscos de retenção e evasão, dependendo ainda da política de oferta semestral dos cursos.

Dessa análise emergem duas situações de destaque: a quantidade de disciplinas que funcionam como pré-requisitos para outras disciplinas, evidenciada no Gráfico 10, e a quantidade de disciplinas que possuem pré-requisitos, ilustrada no Gráfico 11. Esses aspectos revelam nuances importantes na estrutura curricular que devem ser cuidadosamente consideradas para otimizar a progressão acadêmica dos estudantes.

Gráfico 10 - Quantidade de disciplinas pré-requisitos para outras disciplinas

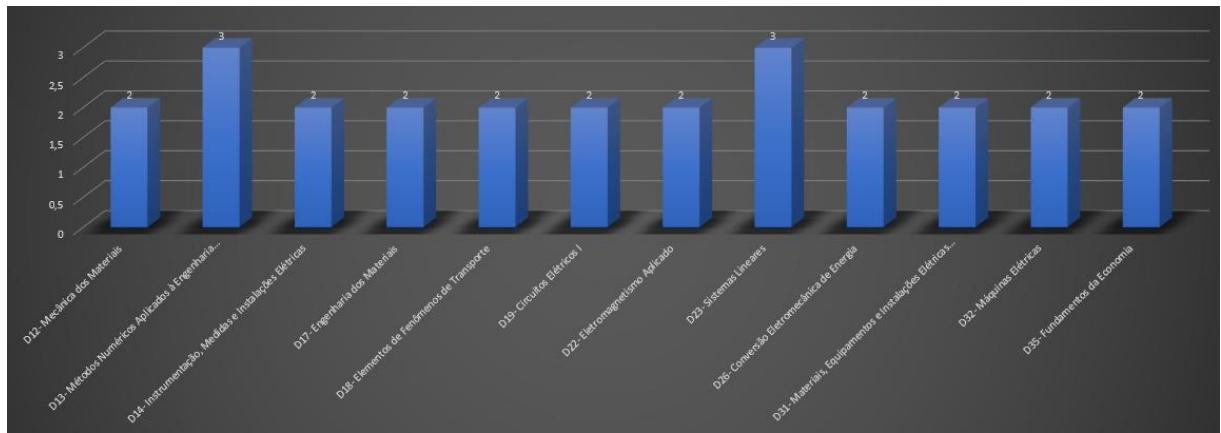


Fonte: Autor (2024).

O Gráfico 10 mostra as disciplinas que são pré-requisito para as demais disciplinas obrigatórias do curso. Dentre elas, as disciplinas Cálculo Fundamental (D1) e Física Fundamental (D4) são as que mais influenciam a progressão do estudante para os semestres posteriores. Vale salientar que ambas as disciplinas estão no período inicial do curso e possuem regime de oferta anual<sup>8</sup>. Tais características interferem diretamente no tempo de diplomação do estudante, pois as disciplinas do primeiro ano do curso são em sua maioria pré-requisitos para a maior parte das disciplinas posteriores.

<sup>8</sup> A adoção de disciplinas anuais nos currículos dos cursos de graduação em engenharia do CT se deu a partir de 1993, sendo somente adotado em 1994 pela Engenharia Elétrica, sem, no entanto, serem constituintes de currículos estruturados com base no regime temporal seriado, em que o período de funcionamento dos cursos é anualizado. Portanto, foram mantidos grupos de disciplinas anuais e semestrais concomitantemente, sendo as anuais ofertadas principalmente nos primeiros anos do curso.

Gráfico 11 - Quantidade de disciplinas que possuem pré-requisitos



Fonte: Autor (2024).

Após as análises realizadas com o grafo (Figura 2), procedeu-se a organização dos dados para a aplicação da técnica de PCA. Essa etapa é essencial para garantir que os dados estejam estruturados de forma adequada, permitindo a extração de informações relevantes e a identificação de padrões consistentes.

#### 4.3.1 Validação estatística para uso do PCA

Foram realizados dois testes para aplicação do PCA: Medida de adequação da Amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e a Esfericidade de Bartlett (EB) (Vasconcelos; Silva; Mota, 2015c). Os resultados dos dois testes são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Testes de validação do PCA

TESTE	VALOR
Adequação da Amostra - KMO	0,6794042876766586
Esfericidade de Bartlett	2,4435976951715415.10 <sup>-78</sup>

Fonte: Autor (2024).

De acordo com Granato *et al.* (2018), o teste de esfericidade de Bartlett é utilizado para verificar a correlação entre as respostas e o valor de referência deve ser menor ou igual a 5%. Já o teste de 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. Nesse caso, o valor de referência do teste KMO é 1, ou seja, quanto mais próximo de 1, melhor o resultado e mais adequada é a amostra para a aplicação do PCA. Portanto, foi possível constatar que os dados são adequados para a análise.

#### 4.3.2 Matriz de correlação

Para aprofundar o estudo e procurar relações importantes, foram analisadas as correlações entre a quantidade de estudantes aprovados em relação aos anos e às disciplinas por meio de matrizes de correlação.

##### 4.3.2.1 Matriz de correlação da quantidade de estudantes aprovados em relação aos anos

A matriz de fatores de correlação permite analisar os atributos de dois a dois do conjunto de dados por ano (Andriola, 2009b). Os valores dos fatores de correlação estão calculados no intervalo de -1 a 1. Esses valores representam a relação entre esses atributos, quanto mais próximo de 1, mais forte a correlação e da mesma forma a correlação em fator -1, porém no sentido oposto. (Vasconcelos, 2015a).

Para uma melhor visualização, os dados foram representados em um mapa de calor. A Figura 2 apresenta o mapa de calor com a correlação presente entre os 8 anos do estudo com base na matriz (quantidade de aprovados no ano) nas 38 disciplinas obrigatórias selecionadas do curso de EE do CT da UFC.

Gráfico 12 - Mapa de calor com a correlação dos anos da matriz de aprovados



Analisando o mapa de calor e seus valores (Gráfico 12), percebe-se que o ano de 2015 tem pouca correlação com outros anos, tendo uma correlação um pouco maior com os anos de 2016 (0,42) e 2017 (0,44). Já o ano de 2016 apresenta correlação alta com os anos de 2017 (0,61) e 2018 (0,61), mostrando também uma correlação média com os anos de 2019 (0,46) e 2020 (0,42). Dentre os dados apresentados, pode-se enfatizar a grande correlação entre os anos de 2021 e 2022 que é de 0,94.

As correlações citadas acima, e em geral no Gráfico 12, mostram os graus de comportamento de desempenho acadêmico dos alunos aprovados nas mesmas disciplinas ofertadas em pares de anos distintos. Tais comparações quantitativas são indicadores da relação entre a capacidade do alunado aprovado por disciplina frente à oferta curricular em cada par de ano do curso avaliado. O desempenho do alunado entre os anos de 2021 e 2022, por exemplo, é praticamente semelhante, como indicado no Gráfico 12, mas ele não se pode dizer nos demais pares de anos, chegando a existir forte disparidade entre os anos 2020 e 2021. De fato, é desejado haver desempenhos semelhantes entre os aprovados e entre os concludentes em cada ano, como os melhores resultados possíveis.

No entanto, esta abordagem explicitada no Gráfico 12 não permite identificar com qualquer precisão o impacto das cadeias de pré-requisitos com o sucesso ou o insucesso do alunado no seu desempenho na trajetória curricular.

Há muitos fatores que concorrem para eventuais justificativas e razões para aqueles intentos, tais como o grau de conhecimento básico no início do curso, maneiras adequadas de estudo do alunado, formas e conteúdos didático-pedagógicos adotados nas disciplinas para obtenção de uma melhor relação ensino-aprendizagem; políticas institucionais e condições estruturais do curso para o atendimento ao alunado e de oferta curricular ao longo dos anos, entre outros aspectos.

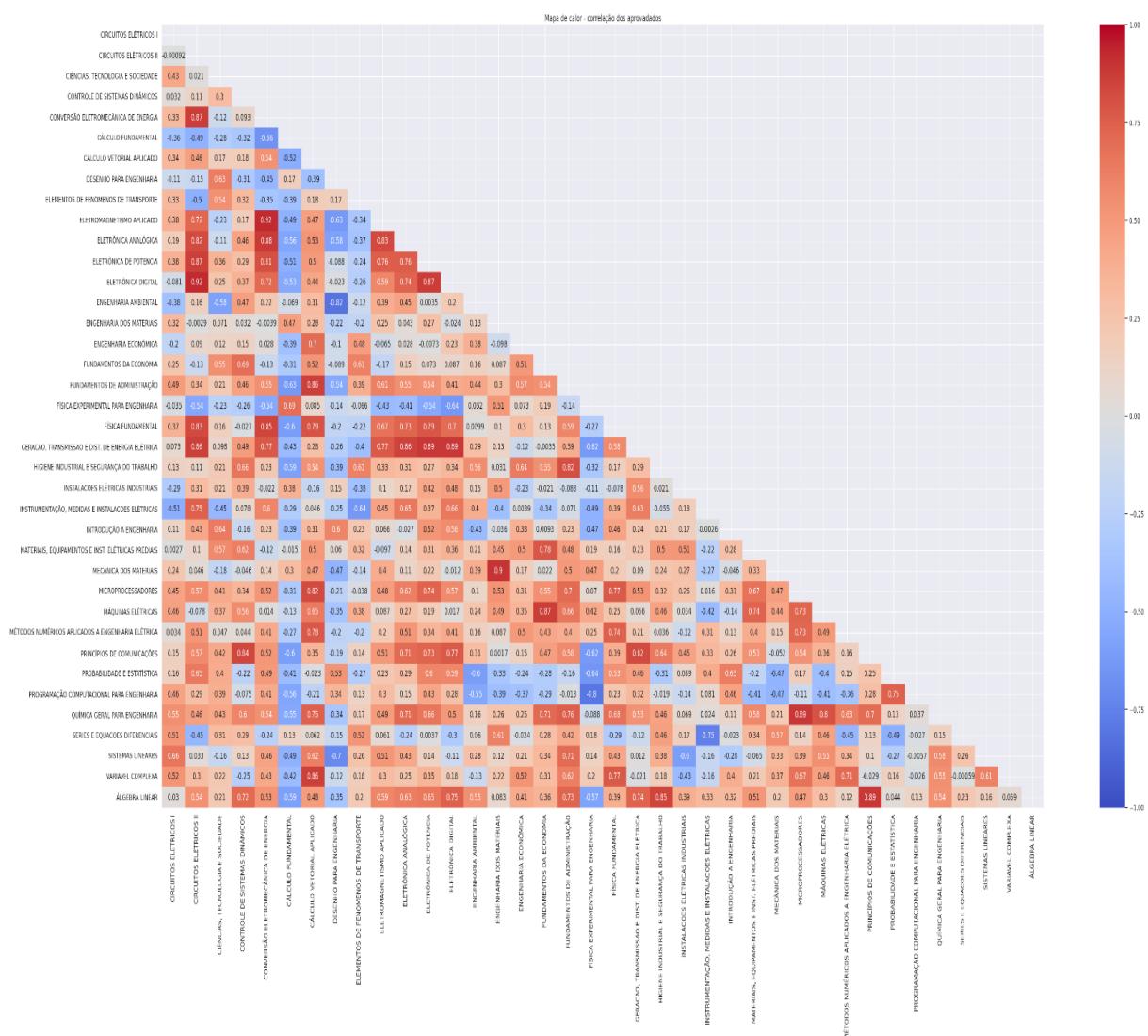
Haja vista a limitação obtida com os fatores adotados, a seguir será verificada outras variáveis e cenários com os dados disponíveis no interesse de extrair informações contidas nos dados na busca do entendimento do comportamento do alunado diante da estrutura curricular do curso, especialmente a influência da cadeia de pré-requisitos sobre a trajetória do alunado ao longo do tempo no curso.

#### 4.3.2.2 Matriz de correlação da quantidade de estudantes aprovados em relação às disciplinas

De maneira análoga à matriz de correlação apresentada anteriormente, elaborou-se uma matriz para correlacionar a quantidade total de estudantes aprovados em todos os anos, em relação a cada disciplina, confrontando-as entre si, conforme exposto no Gráfico 13.

A técnica de correlação bivariada considera os estudantes aprovados em cada disciplina em todos os anos do período observado, e os correlaciona em pares de disciplinas. Através desta matriz já é possível perceber algum grau de influência entre disciplinas diferentes, confrontadas duas a duas.

Gráfico 13 - Mapa de calor com a correlação das disciplinas da matriz de aprovados



Fonte: Autor (2024).

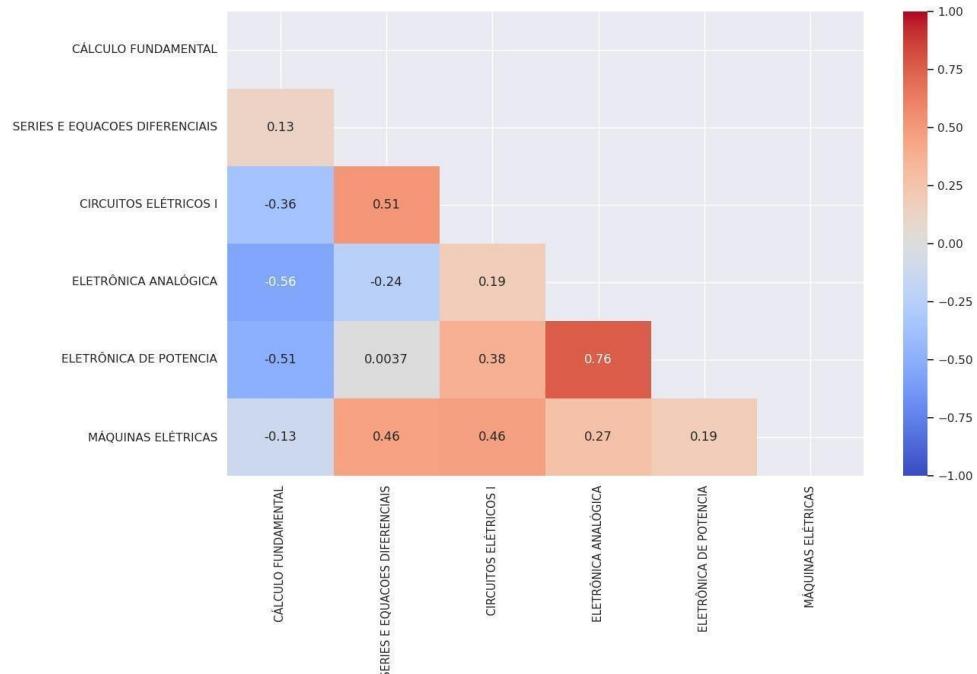
Por meio das cores e valores associados apresentados na Gráfico 13, verifica-se a ocorrência de muitos atributos ou valores que apresentam importantes correlações (cor mais avermelhada), algumas chegando a 0,90 e muitos pares de disciplinas com baixa correlação (cor mais azulada).

Considerando a variação de resultados do mapa de calor (Gráfico 13), é importante deter-se sobre sua relação com o Grafo da Dependência entre as Disciplinas Obrigatórias (Figura 2), para se chegar a conclusões mais concretas sobre a distribuição das disciplinas na estrutura curricular, no interesse maior em detectar os impactos das cadeias de pré-requisitos.

Para tanto, foram construídas novas matrizes de correlação (recortes do Gráfico 13) especialmente com base nas disciplinas que compõem os maiores cenários ou cadeias de pré-requisitos do Grafo exposto na Figura 2.

O primeiro cenário foi selecionado por ser um dos caminhos com maior número de disciplinas com pré-requisitos no qual o estudante terá de percorrer para alcançar a diplomação, sendo ele assim composto: Cálculo Fundamental (D1) → Séries e Equações Diferenciais (D11) → Circuitos Elétricos I (D19) → Eletrônica Analógica (D24) → Eletrônica de Potência (D28) → Máquinas Elétricas (D32). Conforme apresentado no Gráfico 14.

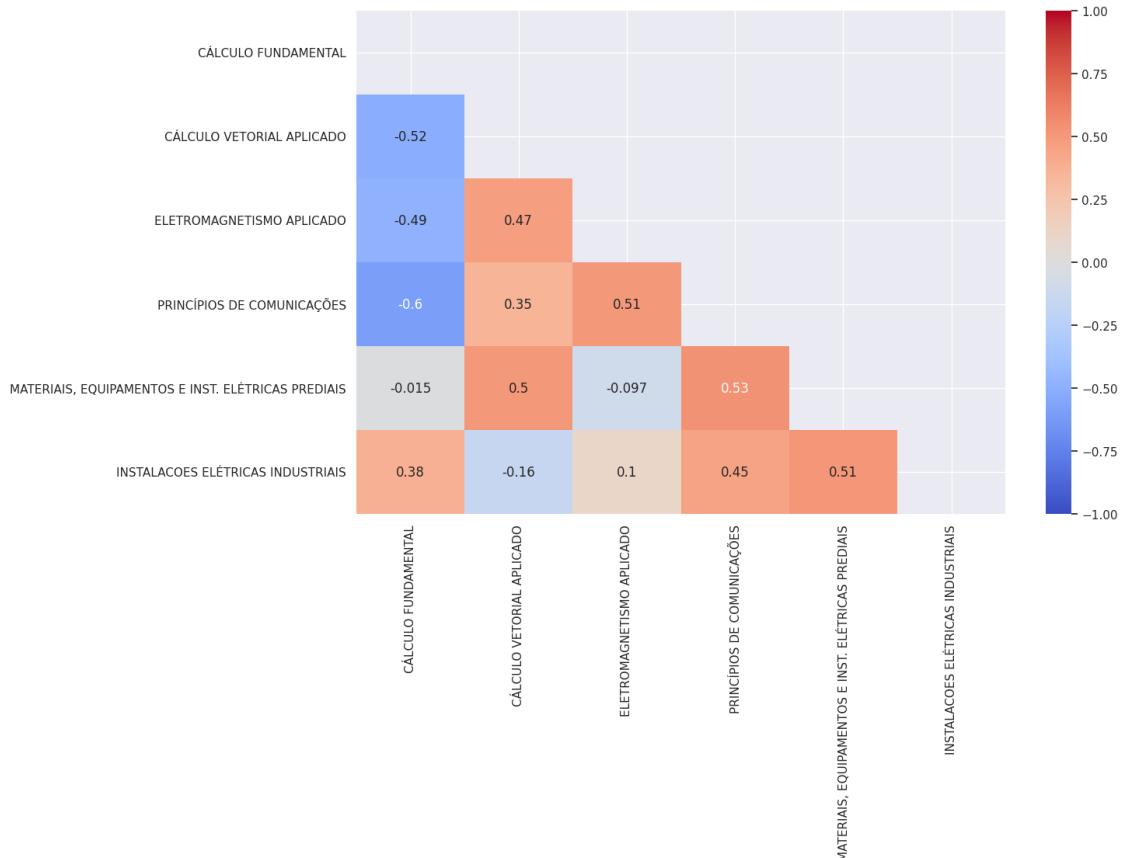
Gráfico 14 - Mapa de calor com a correlação das disciplinas da matriz de aprovados (Cenário 1)



Fonte: Autor (2024).

O segundo cenário abrange as seguintes disciplinas: Cálculo Fundamental (D1) → Cálculo Vetorial (D10) → Eletromagnetismo Aplicado (D22) → Princípios de Comunicações (D29) → Materiais, Equipamentos e Instalações Elétricas Prediais (D31) → Instalações Elétricas Industriais (D38), conforme apresentado no Gráfico 15.

Gráfico 15 - Mapa de calor com a correlação das disciplinas da matriz de aprovados (Cenário 2)



Fonte: Autor (2024).

O mapa de calor do Gráfico 15 mostra cores mais avermelhadas que o mapa anterior (Gráfico 14), porém a correlação da disciplina Cálculo Fundamental (D1) com as demais apresenta semelhança com aquela analisada no Cenário 1. De outro lado, destaca-se uma maior correlação (0,53) entre as disciplinas Princípios de Comunicações (D29) e Materiais, Equipamentos e Instalações Elétricas Prediais (D31). Vale a pena mencionar, no entanto, que seus conteúdos programáticos são dicotômicos, apesar de haver um ramo do Grafo que os interligam.

Contrastando o mapa de calor do Gráfico 13 com os mapas de calor dos cenários 1 e 2, Gráficos 14 e 15, respectivamente, percebe-se a ocorrência de disciplinas com altas correlações, porém estas não fazem parte dos maiores caminhos expostos anteriormente. Sendo assim, levanta-se a hipótese de que as disciplinas pré-requisito não estão distribuídas em uma

sequência que melhor favorece a progressão dos estudantes para as disciplinas subsequentes.

A progressão para os semestres subsequentes deveria ser uma distribuição de disciplinas mais adequada em termos técnicos, resultando em uma melhor correlação dos resultados de aprovação entre elas. Entretanto, os resultados mostraram mais ocorrências de baixa correlação do que alta correlação entre as disciplinas, considerando o número de alunos aprovados. Portanto, isso permite confirmar a suspeita de que existem múltiplas variáveis interferindo na aprovação dos estudantes.

#### ***4.3.3 Seleção de componentes principais***

A análise bivariada direta sobre os dados existentes não permite encontrar justificativas mais contundentes sobre os efeitos da organização curricular existente. Deste modo, foi empregada a Análise de Componentes Principais (PCA) para levantar as informações latentes do conjunto de dados coletados para aprofundar o estudo e extrair mais evidências sobre as variáveis estudadas. No caso da presente tese, a técnica PCA foi aplicada nos dados da série temporal de oito anos (2015 a 2022) para condensar os dados referentes ao recorte de menor número de colunas na origem da decomposição das matrizes de correlação e assim extrair informações intrínsecas da nova matriz (disciplinas x componentes principais).

A aplicação do método PCA sobre a matriz do Gráfico 13 possibilita descrever os dados a partir dos seus componentes principais somente. Para tanto, existem diferentes critérios para se determinar a quantidade de componentes principais a reter para a análise subsequente (Silva *et al.*, 2017b).

Um dos critérios é analisar a variância explicada (Ver Tabela 8), a qual permite verificar o grau de importância de cada autovalor comparado com os outros autovalores, fixando-se em um percentual que já contém a maior energia dos dados. Não foram incluídos todos os autovalores na Tabela 8, pois a partir do oitavo componente já se percebesse que os valores estão tendendo a zero, assim como a variância explicada, portanto é desnecessário colocá-los.

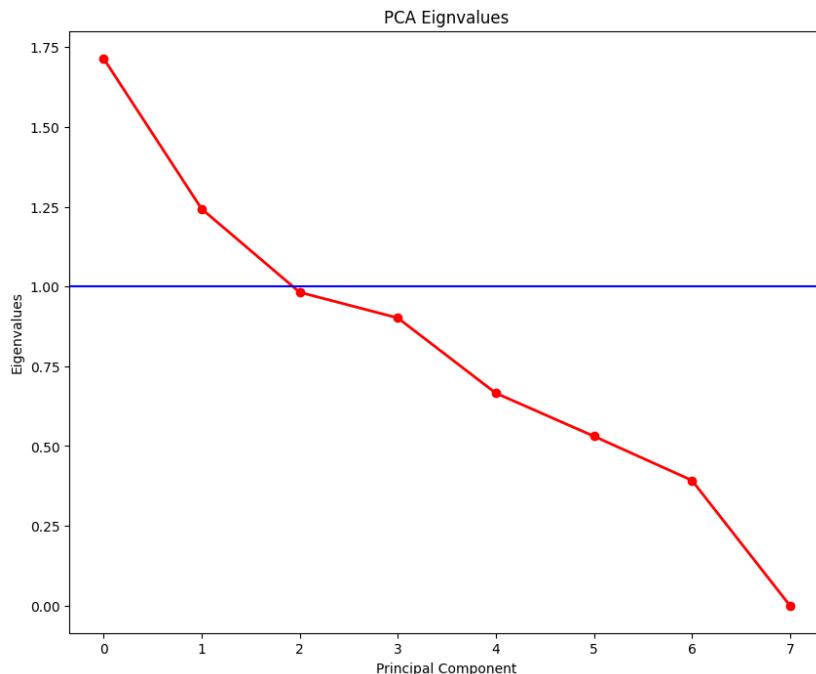
Outro critério seria o de Kaiser (Ver Gráfico 16), adotado nesta pesquisa, o qual consiste na seleção de componentes cujos autovalores apresentem valores acima de 1, ou seja, seleciona-se aqueles componentes com variância dos dados pertinentes ao referencial citado (Silva *et al.*, 2017b).

Tabela 8 – Variância explicada referente à matriz de correlação com a variável disciplina

Componentes	Autovalores	Variância %	Acumulada %
1	1,71506258	26,67	26,67
2	1,24331647	19,32	45,99
3	0,981979936	15,27	61,26
4	0,901611122	14,02	75,28
5	0,665951887	10,35	85,63
6	0,530921892	8,27	93,90
7	0,392511406	6,10	100
8	0,509074981.10 <sup>-31</sup>	0,07.10 <sup>-30</sup>	100

Fonte: Autor (2024).

Gráfico 16 – Autovalores da variável ano



Fonte: Autor (2024).

Adotando-se o critério de Kaiser, através do PCA com os autovalores expostos no Gráfico 16, observam-se dois componentes principais cujos autovalores são maiores que 1.

Por outro lado, retornando à Tabela 8, verifica-se na coluna Variância que estes dois componentes explicam 45,99% do conjunto de dados. Caso fossem escolhidos três componentes, já que o terceiro componente tem autovalor menor, mas próximo a 1, a variância acumulada aumenta para 61,26% e seria possível, em princípio, obter uma maior explicação dos dados. No entanto, após realizar uma análise exploratória, concluiu-se que os dois componentes somente já satisfazem os resultados de interesse.

Em consequência a esta análise exploratória, e considerando os dois componentes principais, CP 1 e CP 2, apontados no Gráfico 16, resultou-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Componentes (carregamentos) dos autovetores associados aos 2 maiores autovalores e às disciplinas correspondentes

CP 1	CP 2	Disciplinas
0,601379	0,167809	CIRCUITOS ELÉTRICOS I
-2,060678	0,116811	CIRCUITOS ELÉTRICOS II
0,661745	1,710998	CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SOCIEDADE
0,318476	-0,424150	CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS
-1,874753	-0,587580	CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA
1,994883	1,774846	CÁLCULO FUNDAMENTAL
0,145319	-1,294994	CÁLCULO VETORIAL APLICADO
0,581705	3,281126	DESENHO PARA ENGENHARIA
1,773994	0,550736	ELEMENTOS DE FENÔMENOS DE TRANSPORTE
-1,385691	-0,864104	ELETROMAGNETISMO APLICADO
-1,577284	-1,004063	ELETRÔNICA ANALÓGICA
-1,522909	0,178561	ELETRÔNICA DE POTÊNCIA
-1,800280	0,280473	ELETRÔNICA DIGITAL
0,325554	-1,426219	ENGENHARIA AMBIENTAL
1,457837	0,105480	ENGENHARIA DOS MATERIAIS
0,838690	-0,514840	ENGENHARIA ECONÔMICA
1,444352	-0,469929	FUNDAMENTOS DA ECONOMIA
0,205849	-1,458428	FUNDAMENTOS DE ADMINISTRAÇÃO
2,635144	0,260835	FÍSICA EXPERIMENTAL PARA ENGENHARIA
-1,287173	-0,432201	FÍSICA FUNDAMENTAL
-1,779999	0,023068	GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DIST. DE ENERGIA ELÉTRICA
0,459367	-0,920391	HIGIENE INDUSTRIAL E SEGURANÇA DO TRABALHO
0,017589	1,348449	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS
-1,928057	0,285930	INSTRUMENTAÇÃO, MEDIDAS E INSTALAÇÕES ELÉTRICAS
-0,506305	1,739562	INTRODUÇÃO A ENGENHARIA
1,200103	0,036614	MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E INST. ELÉTRICAS PRED...
1,315811	-0,629727	MECÂNICA DOS MATERIAIS
-0,038339	-0,658987	MICROPROCESSADORES
1,621576	-1,005736	MÁQUINAS ELÉTRICAS
-0,117202	-0,667519	MÉTODOS NUMÉRICOS APLICADOS A ENGENHARIA ELÉTRICA
-0,951920	-0,184152	PRINCÍPIOS DE COMUNICAÇÕES
-1,724049	2,078233	PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA
-1,202238	1,866693	PROGRAMAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ENGENHARIA
-0,120535	-0,969293	QUÍMICA GERAL PARA ENGENHARIA
2,030150	0,310893	SÉRIES E EQUAÇÕES DIFERENCIAIS
0,598937	-1,513853	SISTEMAS LINEARES
0,384317	-0,474260	VARIÁVEL COMPLEXA
-0,735365	-0,616692	ALGEBRA LINEAR

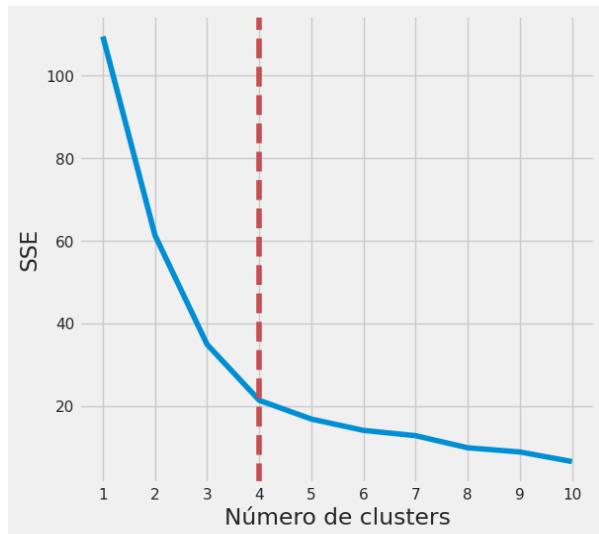
Fonte: Autor (2024).

Para melhor visualizar a afinidade entre as disciplinas, é necessário aplicar os métodos de classificação que é no caso o algoritmo adotado K-means<sup>9</sup> e o método *elbow* (cotovelo)<sup>10</sup>, usados de forma integrada para melhor fornecer o número de clusters, à Tabela 9, resultando no Gráfico 17, no qual é escolhido o número de 4 *clusters* para a classificação das disciplinas.

<sup>9</sup> O Algoritmo K-means é uma técnica de agrupamento baseada em partição que utiliza a distância entre as distâncias euclidianas entre os pontos como critério para formação de agrupamento (Joshi, 2022, tradução nossa).

<sup>10</sup> O método Elbow ou método cotovelo utiliza a soma das energias dos pontos e calcula-se a distância média centro do agrupamento (Joshi, 2022, tradução nossa).

Gráfico 17 - Método de Elbow PCA anos

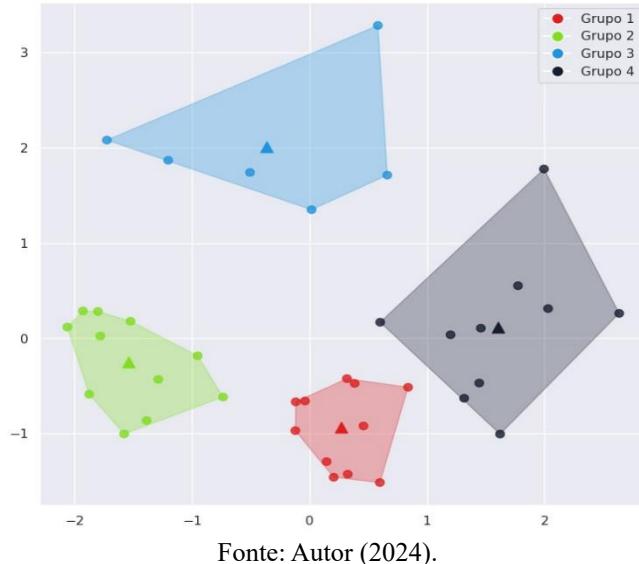


Fonte: Autor (2024).

A métrica *Sum of Squared Errors* (Soma dos Erros Quadráticos – *SSE*, sigla em inglês), referenciado a média sendo a centróide de cada *cluster*, é utilizada como indicador de variação dentro de um cluster, sendo representada graficamente para análise. Quando todos os elementos de um cluster são idênticos, o *SSE* assume o valor de zero. O método Elbow, representado no gráfico 17, auxilia na definição do número representativo da classificação dos clusters suficientes ao identificar uma mudança muito lenta na taxa de decaimento do *SSE*. O ponto na abscissa do gráfico, que caracteriza 4 clusters, indica que, a partir dele, a inclusão de clusters adicionais oferece ganhos marginais no valor da *SSE* e, portanto, insignificantes para a explicação da variabilidade dos dados.

Em seguida, é possível identificar o número e a organização dos *clusters* (grupos) das disciplinas a partir do plano cartesiano, conforme o Gráfico 18.

Gráfico 18 – Carregamentos



Fonte: Autor (2024).

A partir do Gráfico 18, é possível organizar os grupos das disciplinas, conforme a classificação do Quadro 6.

Quadro 6 - Grupos de Disciplinas do PCA

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Controle de Sistemas Dinâmicos	Circuitos Elétricos II	Ciências, Tecnologia e Sociedade	Circuitos Elétricos I
Cálculo Vetorial Aplicado	Conversão Eletromecânica de Energia	Desenho para Engenharia	Cálculo Fundamental
Engenharia Ambiental	Eletromagnetismo Aplicado	Instalações Elétricas Industriais	Elementos de Fenômenos de Transporte
Engenharia Econômica	Eletrônica Analógica	Introdução a Engenharia	Engenharia dos Materiais
Fundamentos de Administração	Eletrônica de Potência	Probabilidade e Estatística	Fundamentos da Economia
Higiene Industrial e Segurança do Trabalho	Eletrônica Digital	Programação Computacional para Engenharia	Física Experimental para Engenharia
Microprocessadores	Física Fundamental		Materiais, Equipamentos e Instalações Elétricas Prediais
Métodos Numéricos Aplicados a Engenharia Elétrica	Geração, Transmissão e Dist. de Energia Elétrica		Mecânica dos Materiais
Química Geral para Engenharia	Instrumentação, Medidas e Instalações Elétricas		Máquinas Elétricas
Sistemas Lineares	Princípios de Comunicações		Series e Equações Diferenciais
Variável Complexa	Álgebra Linear		

Fonte: Autor (2024).

Inicialmente, procedeu-se à análise dos grupos, conforme detalhado no Quadro 6, em correlação com os semestres das disciplinas integrantes da matriz curricular, como apresentado do Quadro 4. A comparação entre os Quadros 4 e 5, revela que os Grupos 1 e 4 exibem uma distribuição não uniforme das disciplinas ao longo dos semestres. Essa não

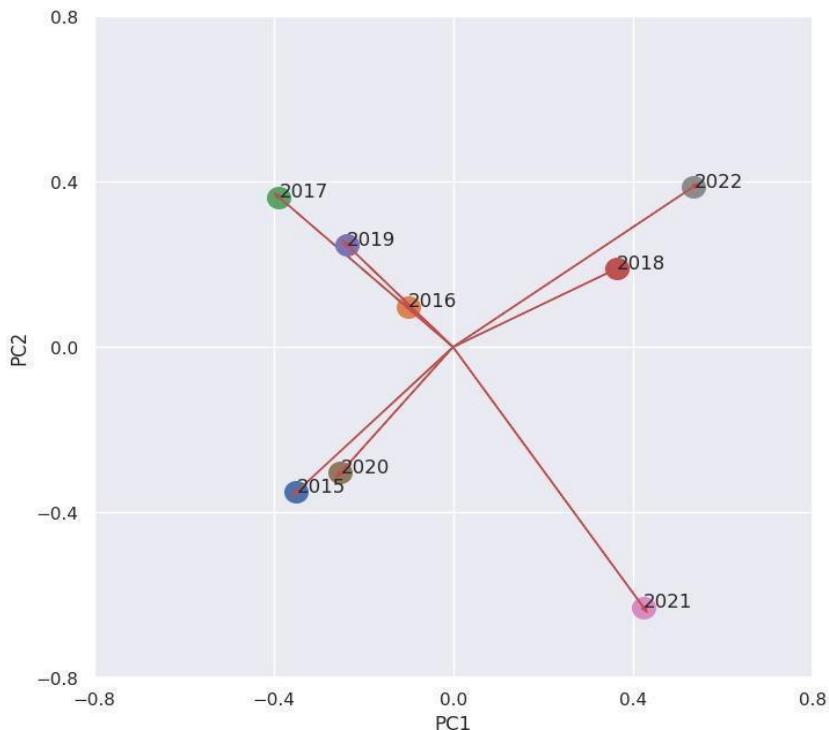
uniformidade é evidenciada pela ausência de uma distribuição equitativa das disciplinas em diferentes períodos letivos. Tal desequilíbrio pode ser explicado pela quantidade de créditos do conteúdo programático associados ao avanço pretendido no aprendizado e maturidade presente no percurso curricular do alunado.

Por outro lado, o Grupo 2 é caracterizado principalmente por disciplinas associadas ao 5º e 6º semestres, enquanto o Grupo 3 abrange seis disciplinas, das quais quatro pertencem ao primeiro ano e duas ao 8º semestre. Essa análise revela padrões distintos na distribuição temporal das disciplinas nos grupos identificados.

Posteriormente, a análise comparativa do grafo na Figura 2 com o agrupamento de disciplinas presente no Quadro 6, evidenciou que o Grupo 4 contém a disciplina Cálculo Fundamental (D1). Esta disciplina é crucial, pois se apresenta como pré-requisito para praticamente todas as outras disciplinas do grupo, exceto Física Experimental para Engenharia (D5). A exceção ocorre devido a ambas as disciplinas pertencerem ao primeiro ano do curso, conforme especificado na Tabela 1. Adicionalmente, constatou-se uma correlação de 0,69 entre as disciplinas Cálculo Fundamental (D1) e Física Experimental para Engenharia (D5), como indicado no Gráfico 13.

A partir dessa análise detalhada das relações entre disciplinas, a conexão com os escores temporais (anos) foi estabelecida por meio da Análise de Componentes Principais (PCA) da matriz de correlação dos anos (Gráfico 12), conforme representado no Gráfico 19. Neste gráfico, foram expostos os pares de componentes associados aos 2 autovalores identificados por ano, cujos autovalores correspondentes são maiores que um. Essa abordagem proporciona uma compreensão mais profunda das dinâmicas e interações entre as variáveis (disciplinas) e os objetos (anos), contribuindo para uma interpretação mais robusta e abrangente dos resultados obtidos.

Gráfico 19 – Escores



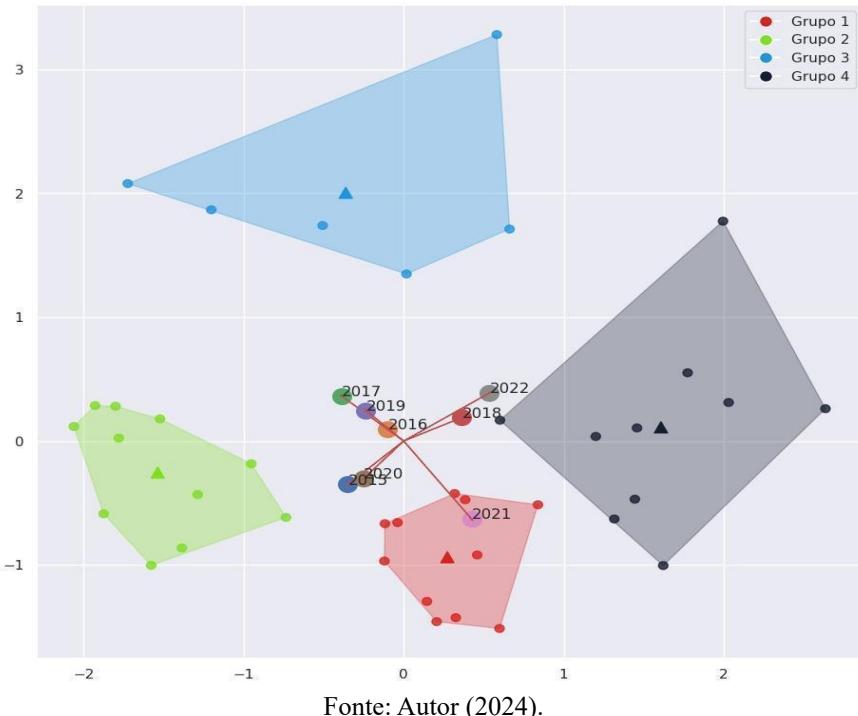
Fonte: Autor (2024).

O Gráfico 19 exibe uma dispersão na distribuição temporal dos anos, destacando-se uma tendência à linearidade entre os anos posicionados na mesma direção, com a exceção notável do ano de 2021, ano este participante da pandemia de COVID-19.

A fim de proporcionar uma visualização mais elucidativa dessa distribuição e explorar as relações entre as variáveis, procedeu-se à construção do biplot integrando os Gráficos 18 e 19. O resultado desta integração é apresentado no Gráfico 20, que sinergicamente incorpora as informações desses gráficos, permitindo uma análise mais abrangente e integrada.

Na análise do biplot, observa-se que a direção e a proximidade relativa dos anos refletem as características de distribuição identificadas nos Gráficos 18 e 19. Essa abordagem gráfica potencializa a interpretação das tendências temporais e fornece considerações adicionais sobre a relação entre os anos, auxiliando na compreensão mais profunda das dinâmicas subjacentes nos dados apresentados.

Gráfico 20 – Biplot



Fonte: Autor (2024).

Ao analisar os Grupos 1 e 2, observa-se uma predominância de disciplinas, totalizando 11 em cada grupo, o que corresponde a aproximadamente 58% do conjunto total de disciplinas avaliadas. Notavelmente, esses dois grupos compartilham os anos de 2020 e 2021 como elementos comuns.

O Grupo 3, conforme previamente mencionado, é caracterizado pela predominância de disciplinas do primeiro semestre, apresentando a peculiaridade de abranger a maior quantidade de anos (três) e a menor quantidade de disciplinas (seis).

Ao relacionar a conjuntura da pandemia de COVID-19, que exerceu influência significativa em diversas esferas da sociedade, com a série temporal dos anos de 2020 a 2022, emerge a interligação desse fenômeno com o desempenho acadêmico dos estudantes do curso de Engenharia Elétrica do CT da UFC.

Infere-se, portanto, que a pandemia de COVID-19 impactou de maneira substancial o desempenho com sucesso dos estudantes desse curso, evidenciada pela marcante influência desses anos nos Grupos 1 e 2. Além disso, o ano de 2022, que coincide com o retorno às aulas presenciais, assinala sua influência no Grupo 4, o qual é caracterizado pela presença da disciplina Cálculo Fundamental (D1), detentora do maior número de pré-requisitos e uma expressiva influência no grafo, conforme retratado na Figura 2.

Diante do exposto, a aplicação das técnicas PCA e sua relação com os grafos na análise dos dados coletados nesta pesquisa proporcionou a conclusão de que as disciplinas pré-requisito do primeiro ano do curso de Engenharia Elétrica do CT da UFC exercem uma influência direta na progressão dos estudantes para os semestres subsequentes. Adicionalmente, constatou-se que as disciplinas do 5º e 6º semestres também desempenham um papel crucial na progressão dos estudantes, representando o cumprimento com sucesso de vários pré-requisitos de disciplinas anteriores.

Por fim, é possível inferir que a pandemia de COVID-19 deixou uma marca indelével no rendimento acadêmico dos estudantes do curso em questão, evidenciada pela significativa alteração no padrão de progressão dos estudantes ao longo dos semestres na série temporal de 2020 a 2022. Essa constatação alinha-se com as tendências identificadas na literatura acadêmica (Blando *et al.*, 2021; Dias; Pinto, 2020; Vieira; Silva, 2020).

#### 4.4 Análise do acoplamento de matrizes (CMF)

Com o intuito de extrair informações mais profundas e precisas dos dados analisados nesta tese, foi realizado o processo de acoplamento entre a Matriz de Aprovados ( $X_{38 \times 8}$ ) e a Matriz de Relacionamento Curricular ( $Y_{38 \times 38}$ ). A aplicação do algoritmo ALS, conforme detalhado na equação (16), envolveu uma busca exaustiva para se encontrar as três matrizes desejadas e seus ranks, seguindo rigorosamente os critérios de parada preestabelecidos. Esse processo foi essencial para obter a estimação das matrizes U, V e W. É importante destacar que as matrizes U, V e W têm o mesmo número de colunas. A fim de determiná-lo em associação ao processo de estimação de U, V e W, foi adotado o método complementar de incrementar de forma crescente o mesmo número de colunas “ $p$ ” para as matrizes U, V e W até que a convergência dos componentes das matrizes estimadas se estabilizem, de forma exaustiva, alcançando a condição de parada das iterações, “ $p$ ” sendo, portanto, um fator crucial para garantir a precisão dos resultados. A partir dessa operação, foram obtidos:  $p = 20$  e consequentemente a Matriz  $V_{8 \times 20}$ , associa-se às informações relativas aos anos, e as Matrizes  $U_{38 \times 20}$  e  $W_{38 \times 20}$ , estão associadas às disciplinas e aos anos estudados, permitindo, assim, a uma análise aprofundada do relacionamento curricular e do desempenho dos alunos ao longo do tempo.

Após as matrizes serem geradas, será feito um algoritmo de aprendizado não supervisionado chamado *K-means*, que é amplamente reconhecido por sua eficiência na divisão de conjuntos de dados em *clusters* (grupos). O *K-means* agrupa os dados de acordo com suas características, permitindo identificar padrões e similaridades entre os elementos de cada

*cluster* para dividir o conjunto de dados em *clusters* distintos, de forma que os objetos dentro de cada grupo sejam mais semelhantes entre si do que com aqueles de outros grupos.

Serão analisados duas a duas as colunas das matrizes, sendo um total de 190 análises por matrizes, para se fazer uma análise exploratória dos resultados. Espera-se que com esse procedimento possa se estabelecer classificações complementares de tal maneira a identificar novas características e/ou confirmar aquelas já obtidas.

Considerando a análise de cada uma das matrizes geradas  $V_{8 \times 20}$ ,  $U_{38 \times 20}$  e  $W_{38 \times 20}$ , foi possível perceber, a partir da função multiobjetiva, que a Matriz V traz informações sobre os anos e, portanto, associa-se diretamente as informações da Matriz X. Por sua vez, a matriz W é uma matriz que traz informações sobre as disciplinas e associa-se diretamente as informações da Matriz Y. Finalmente, a matriz U é a matriz que traz uma dupla riqueza de informações, pois associa-se às informações das duas matrizes X e Y.

Na sequência serão discutidos os resultados das análises do método do acoplamento de matrizes realizadas em relação aos anos e às disciplinas.

#### 4.4.1 Analisando os anos

O objetivo é explorar as informações, eventualmente não expostas ainda, contidas na dimensão dos anos com a matriz gerada  $V_{8 \times 20}$  e com as operações  $(X_{8 \times 38}^T \cdot W_{38 \times 20})$  e  $(X_{8 \times 38}^T \cdot U_{38 \times 20})$ , no espaço de dimensão 8 x 20.

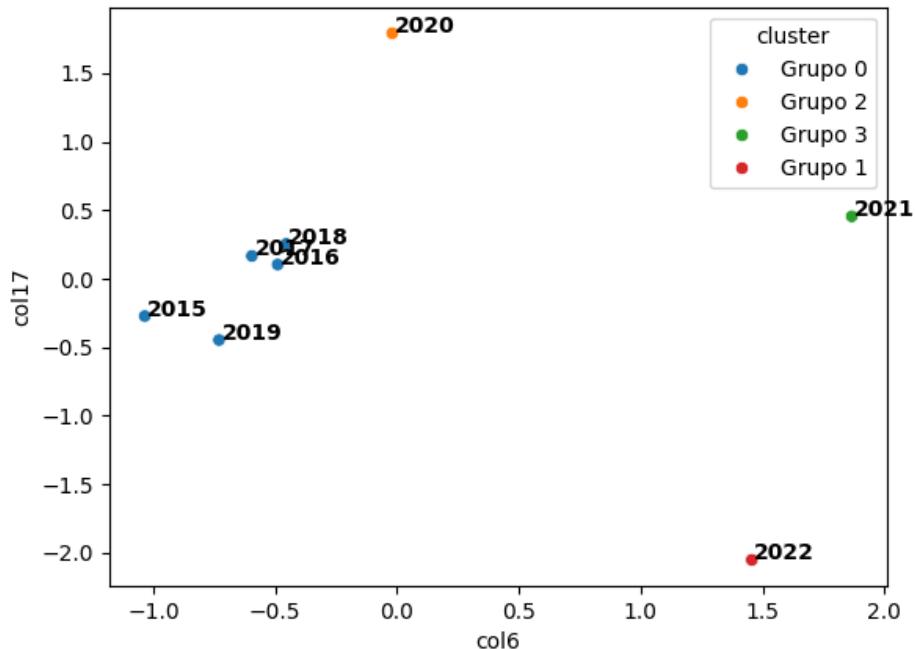
A multiplicação de matrizes pode ser vista como uma operação que acopla duas matrizes de maneira a combinar suas informações.

Esses resultados foram obtidos após a aplicação do método ALS, cujo funcionamento é explicado e detalhado no Quadro 5. A partir desse processo, foi possível extrair as informações necessárias para a análise de estudo dos anos e das disciplinas.

Conforme escrito antes, foram realizadas todas as análises de duas a duas colunas das três matrizes estudadas para os anos:  $V_{8 \times 20}$ ,  $(X_{8 \times 38}^T \cdot W_{38 \times 20})$  e  $(X_{8 \times 38}^T \cdot U_{38 \times 20})$ , tendo sido identificado um padrão semelhante em todos os pares de colunas. No entanto, observou-se uma classificação mais clara entre os grupos na análise do produto  $(X_{8 \times 38}^T \cdot U_{38 \times 20})$ , pois a matriz X contém informações de aprovação e a matriz U carrega informações das duas Matrizes conforme pode ser visto no Gráfico 21.

É observado no Gráfico 21 uma clara divisão em três períodos: Pré-pandemia, Pandemia e Pós-pandemia. Após a aplicação do método K-means, a segmentação dos clusters ficou distribuída entre dois, três e quatro *clusters*.

Gráfico 21 – Anos do acoplamento de matrizes



Fonte: Autor (2024).

Percebe-se que o resultado da análise temporal descrita acima identificou na grande parte dos casos em 4 grupos, em que o primeiro é o agrupamento dos anos de 2015 a 2019, o segundo grupo é o início da pandemia da COVID 19 no ano 2020, o terceiro grupo (ano 2021) a pandemia continuava, porém dando sinais de recrudescimento em que as aulas começavam a ser presenciais no seu segundo semestre e finalmente a normalização total das aulas se deram em 2022 quando a pandemia da COVID 19 estava sobre controle, ficando, no entanto, o grupo identificado com o ano de 2022 isolado e bem distante de todos os grupos.

Pode-se entender que o papel da Matriz  $U_{38 \times 20}$  seja a de ser inserida para identificar-se como uma perturbação do sistema de tal maneira que os pontos representando os anos aparecem agrupados ou não conforme suas similaridades.

É importante destacar que a similaridade observada nos anos de 2015 a 2019 não implica necessariamente em qualidade. Isso fica evidente no estudo do NASS, que revelou índices de sucesso insatisfatórios, especialmente nas disciplinas do núcleo básico.

Vale destacar novamente que os grupos que pertencem aos anos de 2020 a 2022 estão bem distantes do grupo que contém os anos de 2015 a 2019. Isso mostra que na pandemia e pós-pandemia, a Universidade não conseguiu voltar ao padrão que ela tinha antes da pandemia e que se apresentou estar distante de conseguir aquele padrão.

Na análise estatística descritiva do NASS, observa-se que, no ano de 2022, o índice de reaprovação apresentou um valor significativamente elevado, destacando-se como um ponto

fora do padrão em relação aos outros anos. Além disso, a variável 'supressão', que surgiu durante a pandemia de COVID-19, parece ter impactado os dados, especialmente nos 2020 e 2021, possivelmente contribuindo para essa discrepância. A pandemia, como um fator externo, trouxe inúmeros desafios e consequências que afetaram amplamente a sociedade, refletindo-se também nesse contexto.

Dessa forma, a análise confirma que o Gráfico 21 representa bem a realidade observada. Por se tratar de dados não-lineares, as perturbações ocorridas durante esse período foram evidenciadas e devidamente destacadas no estudo.

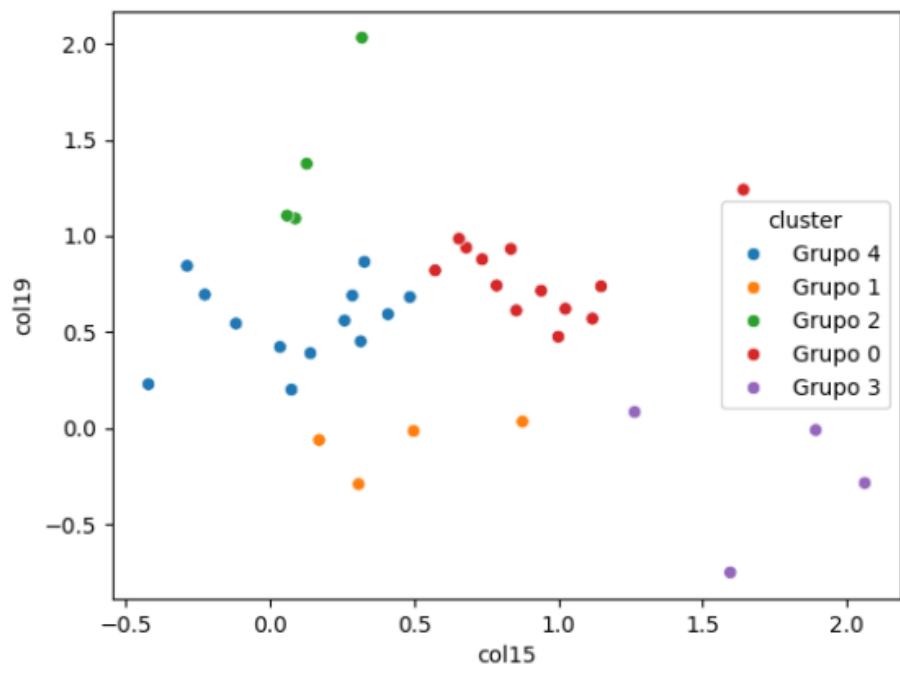
#### ***4.4.2 Analisando as disciplinas***

As matrizes que compõem as análises das disciplinas são  $W_{38 \times 20}$  e  $U_{38 \times 20}$ . Analisando-as, percebe-se que a Matriz  $U_{38 \times 20}$  se identifica com as  $X_{8 \times 38}$  e  $Y_{38 \times 38}$ , enquanto a matriz  $W_{38 \times 20}$  está associada às informações da matriz  $Y_{38 \times 38}$ . Portanto a matriz  $U_{38 \times 20}$  foi selecionada para o estudo das disciplinas nesse item em razão de tratar com as informações desejadas e contidas no acoplamento das matrizes  $X_{8 \times 38}$  e  $Y_{38 \times 38}$ .

Pode ser identificado que a matriz  $U_{38 \times 20}$  classificou os grupos de disciplinas em 4,5 e 6 clusters. A metodologia adotada na formação de pares de colunas da matriz  $U_{38 \times 20}$  foi a mesma empregada no item 4.4.1 em que cada par de colunas de  $U_{38 \times 20}$  foi comparado para fins de extração de similaridades entre os pares de coordenadas formados por disciplinas (linhas) e a imbricação entre a quantidade de aprovados e as disciplinas pré-requisitos (colunas).

Após analisar o Projeto Político Pedagógico do curso, o resultado do NASS e do PCA e as similaridades estabelecidas nas colunas duas a duas geradas, chegou-se ao Gráfico 22, o qual representa a melhor configuração obtida neste estudo.

Gráfico 22 – Disciplinas do acoplamento de matrizes



Fonte: Autor (2024).

Os grupos representados no Gráfico 22 foram explicitados no Quadro 7.

Quadro 7 - Grupos de Disciplinas do CMF

Grupo 0	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Conversão eletromecânica de energia	Ciências, tecnologia e sociedade	Controle de sistemas dinâmicos	Cálculo fundamental	Circuitos elétricos I
Cálculo vetorial aplicado	Materiais, equipamentos e inst. elétricas prediais	Engenharia ambiental	Fundamentos da economia	Circuitos elétricos II
Desenho para engenharia	Séries e equações diferenciais	Microprocessadores	Física experimental para engenharia	Eletromagnetismo aplicado
Elementos de fenômenos de transporte	Sistemas lineares	Métodos numéricos aplicados a engenharia elétrica	Máquinas elétricas	Eletrônica analógica
Eletrônica digital				Eletrônica de potência
Engenharia dos materiais				Fundamentos de administração
Engenharia econômica				Física fundamental
Instrumentação, medidas e instalações elétricas				Geração, transmissão e dist. de energia elétrica
Mecânica dos materiais				Higiene industrial e segurança do trabalho
Princípios de comunicações				Instalações elétricas industriais
Probabilidade e estatística				Introdução a engenharia
Programação computacional para engenharia				Química geral para engenharia
Variável complexa				Álgebra linear

Fonte: Autor (2024).

O Gráfico 22, apresenta uma proximidade evidente entre os grupos 0, 1 e 4, indicando semelhanças ou conexões entre eles. O grupo 0, que contém 13 disciplinas, destaca-se por concentrar, em sua maioria, disciplinas situadas no segundo ano do curso. Um fato a ser destacado é que nesse grupo não existe pré-requisitos entre si. Essas disciplinas, em sua maioria, são posteriores ao núcleo básico (primeiro ano), sugerindo que o grupo 0 funciona como uma transição entre os conteúdos introdutórios e aqueles mais específicos, confirmando a estrutura curricular do curso. Essa característica reflete o papel estratégico desse grupo no avanço progressivo dos estudantes dentro do curso.

O grupo 1, composto por apenas 4 disciplinas, apresenta uma diversidade relativa,

abrangendo matérias distribuídas entre o 2º, 3º e 4º anos do período de diplomação do curso. Esse grupo reúne tanto disciplinas teóricas quanto práticas, evidenciando sua heterogeneidade. Dentre elas, destaca-se a disciplina *Séries e Equações Diferenciais*, que se caracteriza por exigir uma grande quantidade de pré-requisitos e registrar um elevado índice de insucesso, representando um desafio significativo para os estudantes para superar os eventuais insucessos nas disciplinas pré-requisito e eventualmente concluir o curso no tempo regular ou mínimo.

O grupo 2, assim como o grupo 1, é composto por apenas 4 disciplinas. No entanto, apresenta uma característica distinta: todas as disciplinas pertencem a um mesmo grupo do PCA, indicando uma maior similaridade em comparação aos demais grupos. Apesar disso, o grupo 2 compartilha uma certa semelhança com o grupo 0, pois inclui apenas disciplinas situadas entre o 2º, 3º e 4º anos do curso. Vale destacar, porém, que, no gráfico 22, o grupo 2 não aparece tão próximo ao grupo 0, sugerindo diferenças em outros aspectos analisados, tais como um percentual menor de insucessos no grupo 2 em relação ao grupo 0.

O grupo 3 se destaca por incluir a disciplina *Cálculo Fundamental*, que apresenta a maior quantidade de vínculos como pré-requisito para outras disciplinas. Essa característica torna a disciplina um elemento central no progresso acadêmico dos estudantes. Além disso, *Cálculo Fundamental*, juntamente com *Física Experimental para a Engenharia*, possui um alto índice de insucesso, o que reforça sua relevância no processo de diplomação. Outro aspecto notável do grupo 3 é o impacto de *Cálculo Fundamental*, como pré-requisito, em disciplinas subsequentes, como *Fundamentos da Economia e Máquinas Elétricas*, que exigem a aprovação nessa matéria para serem cursadas. Esse padrão evidencia os primeiros pré-requisitos diretos e indiretos analisados na pesquisa, destacando a importância estratégica desse grupo no percurso curricular dos estudantes.

O grupo 4, composto por 13 disciplinas, destaca-se por concentrar a maior parte de suas matérias no núcleo básico (primeiro ano) e no 3º ano do curso. Esse grupo inclui várias disciplinas de ensino básico, fundamentais para a formação inicial dos estudantes, mas também abrange matérias voltadas para aplicações específicas na área de Engenharia Elétrica. As disciplinas desse grupo apresentam fortes conexões com pré-requisitos que evidenciam a importância de uma sequência lógica na aprendizagem. A análise da estrutura curricular mostra que os conteúdos introduzidos nas disciplinas básicas são aplicados em matérias mais avançadas ao longo do curso, ressaltando a integração progressiva entre teoria e prática. Essa relação reforça a importância do grupo 4 como base para o desenvolvimento acadêmico e profissional dos estudantes.

A análise dos grupos evidencia diferentes níveis de relevância entre as disciplinas, destacando elementos cruciais para o progresso acadêmico. Um exemplo marcante é a disciplina *Cálculo Fundamental*, que ocupa um papel central ao incorporar conteúdos amplamente utilizados em matérias subsequentes. No entanto, a análise do grafo mostra que o peso de influência dessa disciplina, determinado pelos pré-requisitos, é desproporcionalmente elevado em relação às demais. Isso a posiciona como um pilar estruturante do curso, ainda que, segundo a análise, tal nível de dependência e centralidade talvez pudesse ser reduzido, sugerindo a necessidade de uma revisão curricular para equilibrar a distribuição de responsabilidades entre as disciplinas.

Por se tratar de três grandes estudos realizados para esta tese, obtiveram-se resultados significativos. Inicialmente, constatou-se que a diplomação dos discentes do curso de Engenharia Elétrica da UFC não era satisfatória. A partir dessa constatação, iniciou-se um estudo detalhado para entender as razões do insucesso dos alunos nas disciplinas básicas, tendo em vista que a reaprovação é uma das principais causas de evasão e retenção no curso.

O primeiro grande estudo foi o desenvolvimento do indicador NASS, por meio do qual foi possível constatar a alta taxa de reaprovações do curso de Engenharia Elétrica, especialmente nas disciplinas do núcleo básico. Essa situação compromete o andamento de todo o percurso acadêmico do estudante. Além disso, foram identificadas disciplinas ao longo do curso que também apresentam altos índices de insucesso, possivelmente decorrentes de uma base de conhecimento comprometida por conta do núcleo básico. Esses aspectos, portanto, merecem atenção especial para promover melhorias no desempenho acadêmico dos estudantes.

Após a realização da primeira análise com o uso de estatística descritiva, percebeu-se a necessidade de aprofundar a investigação para extrair mais informações. Para isso, recorreu-se às ferramentas da estatística multivariada, introduzindo os dois próximos grandes estudos: PCA e CMF.

A aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA), em conjunto com técnicas baseadas em grafos, na análise dos dados coletados permitiu concluir que as disciplinas pré-requisito do primeiro ano do curso de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia (CT) da UFC exercem influência direta na progressão dos estudantes para os semestres subsequentes. Ademais, constatou-se que as disciplinas ofertadas no 5º e 6º semestres também desempenham um papel determinante na trajetória acadêmica, representando o sucesso no cumprimento de disciplinas pré-requisitos anteriores.

Na análise realizada por meio do Acoplamento de Matrizes (CMF), identificou-se que a importância atribuída à disciplina de Cálculo Fundamental, conforme evidenciado no

grafo, não se alinha com os padrões observados nos grupos formados. Enquanto o grafo sugere uma alta centralidade dessa disciplina na estrutura curricular, os agrupamentos derivados do CMF indicam que seu impacto direto na progressão acadêmica pode ser menor do que o esperado.

Além disso, o CMF destacou a relevância de outras disciplinas do núcleo básico, que, embora menos evidentes no grafo, desempenham um papel significativo na sustentação do progresso acadêmico. Essas disciplinas se conectam fortemente às matérias que compõem os semestres intermediários, especialmente o período do 5º ao 8º semestre (3º e 4º anos do curso), reforçando a ideia de que dificuldades enfrentadas nos núcleos iniciais podem reverberar ao longo do percurso acadêmico. Esse método permitiu mapear de forma mais precisa como as conexões entre as disciplinas impactam o desempenho dos discentes, enfatizando que o sucesso nos semestres intermediários depende de um bom desempenho em disciplinas básicas que, à primeira vista, poderiam parecer menos influentes.

Além disso, a integração entre disciplinas teóricas e práticas merece destaque, pois evidencia a necessidade de um planejamento curricular equilibrado que favoreça tanto a base conceitual quanto a aplicação prática dos conhecimentos. A análise também reforça a relevância das disciplinas do primeiro ano, que em sua maioria, estão concentradas em um único grupo. Essa organização sublinha o papel estratégico desse período na formação inicial dos estudantes, sendo crucial para sua adaptação à vida universitária e para o desenvolvimento de uma base sólida que sustentará o progresso ao longo do curso.

Por fim, é enfatizado que o sucesso nas disciplinas iniciais é crucial para a não retenção dos estudantes nos diversos percursos do curso e para a redução da evasão. Nesse sentido, o fortalecimento do suporte acadêmico e pedagógico durante esse estágio inicial é essencial para oferecer uma base sólida, que promova a continuidade e o bom desempenho ao longo do curso. Além disso, o estudo evidenciou a importância das disciplinas práticas, agrupando-as de maneira que reforça a necessidade de trabalhar melhor suas imbricações em relação às demais disciplinas do curso, tanto teóricas quanto práticas. Essa integração entre teoria e prática é fundamental para garantir uma formação completa e alinhada às demandas do curso, ampliando as chances de sucesso acadêmico e profissional dos estudantes.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) propiciou uma notável ampliação no acesso ao Ensino Superior, promovendo a criação, entre outros, de novos campi em universidades e institutos federais, e consequente interiorização do Ensino Superior. Contudo, paradoxalmente, o orçamento alocado para a manutenção das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) não acompanhou na mesma proporção as crescentes demandas institucionais, gerando uma pressão adicional por eficiência, conforme exigências do Tribunal de Contas da União (TCU), as quais foram fixadas pela Decisão nº 408/2002 – TCU - Plenário (Brasil, 2002).

Nesse contexto desafiador, os gestores das IFES enfrentam a necessidade premente de embasar suas decisões em dados confiáveis e pertinentes, especialmente diante do aumento de despesas e da contingência de recursos orçamentários. Agravando essa conjuntura, estudo conduzido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2023) revela que, apesar do Brasil investir um volume de recursos comparável ao destinado pelos países desenvolvidos no Ensino Superior, apenas 22% dos jovens entre 25 e 34 anos detêm um diploma de graduação.

Essa problemática está intrinsecamente ligada aos elevados índices de retenção e evasão no Ensino Superior brasileiro, fenômenos multidimensionais que implicam complexidade variada, incluindo fatores como assistência estudantil, integração do estudante à vida no campus e arranjos curriculares.

Diante da complexidade desta problemática, esta tese focou na exploração da estrutura curricular do curso de graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Ceará (UFC) para identificar as causas subjacentes à retenção e à evasão dos estudantes de graduação.

A partir da questão central da pesquisa – "Qual a relação entre a estrutura curricular do curso e a taxa de sucesso dos seus estudantes?" – emergiram as seguintes hipóteses: primeiramente, a influência negativa da oferta temporal das disciplinas no rendimento do estudante de graduação. Em segundo lugar, a organização das disciplinas pré-requisito que apresentam potencial de atrasar a progressão dos estudantes para os semestres subsequentes em caso de reprovação, incrementando, consequentemente, a probabilidade de atraso na diplomação e até mesmo a evasão deste alunado.

Ante o exposto, pode-se inferir que o insucesso do CT contribui para a retenção e até mesmo para a desistência dos cursos, pois as disciplinas dos semestres iniciais são pré-

requisitos para as disciplinas dos semestres subsequentes. Logo, se o índice de insucesso for alto durante os primeiros semestres, é certo o atraso na diplomação e é provável a desistência do curso.

Ademais, as evidências destacaram que o insucesso nas disciplinas básicas prejudica a aplicação dos conhecimentos teóricos em situações práticas por parte do estudante, o que reforça a necessidade de integrar teoria e prática para propiciar maior chance de sucesso acadêmico e profissional.

Portanto, os resultados obtidos confirmaram as hipóteses inicialmente formuladas: (1) o modelo atual de oferta das disciplinas impacta o desempenho dos estudantes de graduação e (2) a organização das disciplinas pré-requisito retarda a progressão dos estudantes para os semestres subsequentes e, consequentemente, sua diplomação.

Adicionalmente, a pesquisa evidenciou uma significativa mudança no padrão de progressão dos estudantes ao longo dos semestres durante o período de 2020 a 2022, marcado pela conjuntura da pandemia de COVID-19.

Inicialmente concebida para explorar a relação entre a estrutura curricular do curso de graduação em Engenharia Elétrica e a diplomação dos estudantes, a tese viu-se compelida a ampliar suas indagações devido às lacunas que emergiram a partir da pandemia de COVID-19. Aspectos como o impacto do ensino remoto emergencial, o isolamento social e a disparidade de acesso à internet na aprendizagem e desempenho acadêmico dos estudantes de graduação se tornaram áreas de investigação suplementares. Em última análise, a interferência dos períodos de pandemia e pós-pandemia de COVID-19 possibilitou descobertas além do escopo inicialmente delineado pela pesquisa.

Por meio desta tese, foi possível contrastar diferentes cursos e identificar que há cursos mais preocupantes do que outros, inclusive aqueles que possuem disciplinas em comum, o que possibilita a condução de novas pesquisas para compreender quais fatores interferem no insucesso desses cursos. Nesse sentido, pesquisas futuras podem replicar o estudo para investigar a relação das disciplinas com a retenção e a evasão de estudantes dos outros cursos de graduação da UFC.

Ademais, novas lacunas de pesquisa emergiram para os pesquisadores que desejam utilizar técnicas da estatística multivariada para encontrar informações mais detalhadas e evidências que fundamentam intervenções nos desafios que circundam o processo de ensino e aprendizagem no ensino superior.

Para trabalhos futuros, propõe-se a inclusão de um parâmetro de peso no grafo utilizado nesta pesquisa, com o intuito de representar de forma mais precisa o grau de

dependência entre os pré-requisitos das disciplinas. Este parâmetro de peso será atribuído com base em uma análise aprofundada da estrutura curricular das disciplinas, considerando não apenas a sequência lógica de dependência, mas também a relevância do conteúdo aproveitado para o semestre subsequente. A introdução desse parâmetro permitirá uma modelagem mais robusta das relações curriculares, aprimorando a acurácia das previsões e oferecendo uma visão mais detalhada do impacto dos pré-requisitos no desempenho acadêmico ao longo do percurso formativo, eventualmente refletindo-se em uma nova estrutura curricular e processos de avaliações de grupos de disciplinas organizadas de modo a manterem graus de correlação importantes. Outra sugestão seria abordar nos próximos estudos variáveis relacionadas aos métodos didático-pedagógicos adotados nas disciplinas sobre o desempenho acadêmico dos estudantes e dos cursos de graduação.

Outros trabalhos futuros pretendem-se avançar nas áreas de acoplamento de matrizes com foco em duas abordagens inovadoras que visam aprimorar a análise de dados complexos e otimizar a solução de problemas computacionais. O primeiro estudo se dedicará ao desenvolvimento de um algoritmo para identificar automaticamente as similaridades no acoplamento de matrizes. Este algoritmo deverá ser projetado para extrair conclusões significativas sem a necessidade de realizar uma análise exploratória manual nas colunas das matrizes estudadas. A proposta é automatizar a detecção de padrões e relações entre as matrizes, o que permitirá comparar elementos de diferentes matrizes com o esforço computacional considerável, porém eventualmente evitando erros humanos intrínsecos ao processo exaustivo de procura empregado neste trabalho para identificar agrupamentos ou correlações entre elas. O segundo estudo focará na possível estimação das matrizes X e Y através de operações implicando exclusivamente as relações entre as matrizes V e W, não necessitando, portanto, do cálculo da matriz U, considerando possivelmente um custo computacional mais expressivo.

A partir dos resultados obtidos nesta tese, sugere-se a reformulação da estrutura curricular do curso de graduação em Engenharia Elétrica, especialmente no que diz respeito à distribuição dos pré-requisitos. Além da reformulação curricular, recomenda-se a formulação de políticas institucionais para facilitar a integração dos calouros à vida acadêmica e suavizar a transição da Educação Básica para o Ensino Superior.

Finalmente, sugere-se institucionalizar o indicador NASS, o qual já é utilizado no Programa de Articulação entre Graduação e Pós-Graduação (PROPAG) da Escola Integrada de Desenvolvimento e Inovação Acadêmica (EIDEIA) como critério de avaliação nos editais de instrutoria. Ademais, a inclusão do NASS no rol de indicadores da Autoavaliação Institucional da UFC pode contribuir na tomada de decisão dos gestores acadêmicos e da administração

superior da UFC na busca por estratégias para solucionar as problemáticas identificadas e melhorar os indicadores da universidade.

## REFERÊNCIAS

ANDRIOLA, Wagner Bandeira. Estudo comparativo do desempenho de estudantes do ensino médio em dois formatos (lápis-papel e computador) de um teste de Raciocínio Verbal (RV) [Resumo]. In: ENCONTRO DE TÉCNICAS DE EXAME PSICOLÓGICO, 2., 1996, São Paulo. **Programa e Resumos do II Encontro de Técnicas de Exame Psicológico**: Ensino, Pesquisa e Aplicações. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996a.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira. Evasão discente na Universidade Federal do Ceará (UFC): proposta para identificar causas e implantar um Serviço de Orientação e Informação (SOI). **Ensaio**: aval. pol. públ. educ., Rio de Janeiro, v. 11, n. 40, p. 332-347, jul./set. 2003a. Disponível em: [http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-40362003000300006&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-40362003000300006&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt). Acesso em: 15 nov. 2024.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira. **Faroleiros da Educação**: lançando luzes sobre o Ensino Superior. Fortaleza: Ed. Universitária da UFC, 2012.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira. Fatores associados à evasão discente na Universidade Federal do Ceará (UFC) de acordo com as opiniões de docentes e de coordenadores de cursos. **Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación (REICE)**, Madrid, v. 7, n. 4, p. 342-356, 2009a. Disponível em: <https://revistas.uam.es/reice/article/view/5396>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira. O uso de computadores na avaliação psicológica: estudo de sua influência sobre o desempenho individual num Teste de Raciocínio Numérico (RN). **Interações**, São Paulo, v. 8, n. 15, p. 105-124, jun. 2003b. Disponível em [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-29072003000100006&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-29072003000100006&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 02 maio 2024.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira. O uso de computadores na avaliação psicológica: verificação de sua influência sobre o desempenho individual num Teste de Raciocínio Verbal (RV). **Psicologia: Reflexão e Crítica**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 257-268, 1996b.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira. Propostas estatais voltadas à avaliação do ensino superior brasileiro: breve retrospectiva histórica do período 1983-2008. **Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación (REICE)**, Madrid, v. 6, n. 4, p. 127-148, 2008. Disponível em: <https://revistas.uam.es/reice/article/view/5434>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira. Psicometria moderna: características e tendências. **Estudos em Avaliação Educacional**, São Paulo, v. 20, n. 43, p. 319-340, 2009b. Disponível em: <https://publicacoes.fcc.org.br/eae/article/view/2052>. Acesso em: 01 maio 2024.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira; ARAÚJO, Adriana Castro. Avaliação dos impactos do Programa de Apoio a Planos de Expansão e Reestruturação das Universidades Federais Brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos (RBEP)**, Brasília, DF, v. 102, n. 261, p. 437-464, 2021. Disponível em: [http://educa.fcc.org.br/scielo.php?pid=S2176-66812021000200437&script=sci\\_abstract](http://educa.fcc.org.br/scielo.php?pid=S2176-66812021000200437&script=sci_abstract). Acesso em: 15 nov. 2024.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira; ARAÚJO, Adriana Castro. Perfil de ingressantes no Ensino Superior após a Lei de Cotas. **Revista Docentes**, Fortaleza, v. 8, n. 22, p. 19-30, 2023. Disponível em: <https://revistadocentes.seduc.ce.gov.br/revistadocentes/article/view/242>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ANDRIOLA, Wagner Bandeira; ANDRIOLA, Cristiany Gomes; MOURA, Cristiane Pascoal. Opiniões de docentes e de coordenadores acerca do fenômeno da evasão discente dos cursos de graduação da Universidade Federal do Ceará. **Ensaio: aval. pol. públ. educ.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 52, p. 365-382, jul./set. 2006. Disponível em: [http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-40362006000300006&lng=pt&nrm=iso](http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-40362006000300006&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 05 maio 2024.

ARAÚJO, R. S. Expansão do ensino superior e desenvolvimentismo: limites e contradições sob a hegemonia do Capital. **Educação e Fronteiras**, Dourados, v. 6, n. 16, p. 93–105, 2016. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/educacao/article/view/5713>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ARAVENA-REYES, J. Rumo a uma formação social do engenheiro: crítica às novas diretrizes curriculares de engenharia. **Trabalho & Educação**, Belo Horizonte, v. 30, n. 2, p. 141–158, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/trabedu/article/view/21992>. Acesso em: 09 out. 2024.

BARTLETT, M. S. Tests of significance in factor analysis. **British Journal of Psychology**, Londres, v. 3, n. 2, p. 77-85, jun. 1950. Disponível em: <https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2044-8317.1950.tb00285.x>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BIOLCHINI, J. *et al.* Systematic review in software engineering. **Technical Report - RT ES**, Rio de Janeiro, v. 679, n. 5, 2005. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/es67905.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2024.

BLANDO, Alessandra *et al.* Levantamento sobre dificuldades que interferem na vida acadêmica de universitários durante a pandemia de COVID-19. **Revista Thema**, Pelotas, v. 20, n. especial, p. 303–314, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/1857>. Acesso em: 04 dez. 2024.

BRASIL. Decreto Nº 6.096, de 24 de abril de 2007. Institui o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais - REUNI. **Diário Oficial da União**, seção 1, Brasília, DF, ano 144, n. 79, p. 7, 25 abr. 2007. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/decreto/d6096.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6096.htm). Acesso em: 15 nov. 2024.

BRASIL. Lei Nº 2.383, de 3 de janeiro de 1955. Cria a Faculdade de Engenharia do Ceará. **Diário Oficial da União**, seção 1, Brasília, DF, ano 92, p. 601, 14 jan. 1955. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/12383.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/12383.htm). Acesso em: 04 dez. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**, seção 1, Brasília, DF, ano 134, n. 248, p. 27.833, 23 dez. 1996. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9394.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm). Acesso em: 15 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 10.861, de 14 de abril de 2004. Institui o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior –SINAES e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, seção 1, Brasília, DF, ano 140, n. 72, p. 3-4, 15 abr. 2004. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.861.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.861.htm). Acesso em: 15 nov. 2024

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Dicionário da Administração Pública Brasileira do Período Colonial (online)**. Brasília, DF: Base de Dados MAPA, 2011. Disponível em: <https://mapa.an.gov.br/index.php/assuntos/15-dicionario/57-dicionario-da-administracao-publica-brasileira-do-periodo-colonial>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Censo mostra que ingresso de alunos cresceu 8,5% em 2008. **Portal do MEC**. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/ultimas-noticias/212-educacao-superior-1690610854/14698-censo-aponta-crescimento-no-ingresso-de-alunos-em-2008>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Parecer CNE/CES Nº 1 de 23 de janeiro de 2019**. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais s do Curso de Graduação em Engenharia. Brasília, DF, 2019a. Disponível em: [https://normativasconselhos.mec.gov.br/normativa/view/CNE\\_PAR\\_CNECESN12019.pdf?query=curriculo](https://normativasconselhos.mec.gov.br/normativa/view/CNE_PAR_CNECESN12019.pdf?query=curriculo). Acesso em: 15 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Documento da Área de Engenharias IV**. Brasília, DF, 2019b. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/engenharias-iv-pdf>. Acesso em: 03 dez. 2024.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Acórdão nº 408/2002**. Plenário. Relator: Ministro Iram Saraiva. Sessão de 24/04/2002. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/redireciona/acordao-completo/%22ACORDAO-COMPLETO-6830%22>. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRO, R; SMILDE, A. K. Principal Component Analysis. **Analytical Methods**, [s. l.], v. 6, n. 9, p. 2812-2831, 2014. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/ay/c3ay41907j>. Acesso em: 04 dez. 2024.

CAVALCANTE, S. M.; ANDRIOLA, W. B. Avaliação da eficiência dos cursos de graduação da Universidade Federal do Ceará (UFC) através da Análise Envoltória de Dados (DEA). **Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa**, Madrid, v. 5, n. 3, p. 291-313, 2012. Disponível em: <https://revistas.uam.es/riee/article/view/4298>. Acesso em: 15 nov. 2024.

COCTEAU, Jean. **Não sabendo que era impossível, foi lá e fez**. Paris, 1953.

CUNHA, João Paulo Alves *et al.* Fatores associados à retenção e intencionalidade de evasão nos cursos de farmácia de uma universidade pública do nordeste brasileiro. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 39, n. 39, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/edrevista/article/view/36898>. Acesso em: 15 nov. 2024.

DIAS, Érika; PINTO, Fátima Cunha Ferreira. A Educação e a Covid-19. **Ensaio: aval. pol. públ. educ.**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 108, p. 545-554, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ensaio/v28n108/1809-4465-ensaio-28-108-0545.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2024.

FERRAZZA, Adriana Cioato *et al.* Adequação psicométrica de uma escala de medida de propensão à evasão. **Estudos em Avaliação Educacional**, São Paulo, v. 34, p. e09362, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.fcc.org.br/eae/article/view/9362>. Acesso em: 15 nov. 2024.

GARCÍA JIMÉNEZ, Eduardo; GIL FLORES, Javier; GÓMEZ, Gregorio Rodríguez. **Análisis Factorial**. Madrid: Editorial la Muralla, 2000.

GAVÍRIA SOTO, José Luís. **El Supuesto de la unidimensionalidad en la teoría del rasgo latente: aportaciones metodológicas**. Madrid: Ed. Universitária da Universidad Complutense de Madrid, 1988.

GODOY, E. V.; ALMEIDA, E. Evasão nos cursos de engenharia: um olhar para os trabalhos do COBENGE de 2000 a 2014. **R. bras. Ens. Ci. Tecnol.**, Ponta Grossa, v. 13, n. 3, p. 50-74, set./dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/8583>. Acesso em: 15 out. 2024.

GRANATO, Daniel *et al.* Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: a critical perspective. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 72, n. 1, p. 83-90, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224417306362?via%3Dihub>. Acesso em: 04 dez. 2024.

GUERRINI, D.; ALENCAR, A. Y. N.; SANTOS, L. P. Formando engenheiros em um laboratório de usinagem: conhecimento, gênero e gambiarra. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, v. 50, n. 176, p. 396–409, abr. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cp/a/fvLnWkqrZB7PykCRtBG4cnF/?lang=pt#>. Acesso em: 14 out. 2024.

HAIR, J. F. *et al.* **Multivariate data analysis: a global perspective**. 7. ed. London: Pearson, 2014.

HATTIE, John. An empirical study of various indices for determining unidimensionality. **Multivariate Behavioral Research**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 49-78, 1984. Disponível em: [https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327906mbr1901\\_3](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327906mbr1901_3). Acesso em: 04 dez. 2024.

HATTIE, John. Methodology review: assessing unidimensionality of test and items. **Applied Psychologica Measurement**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 139-164, 1985. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/014662168500900204>. Acesso em: 04 dez. 2024.

HIPPÓLYTO, Luzia Queiroz; ANDRIOLA, Wagner Bandeira; NUNES, Albano Oliveira. Uso da Análise Multivariada (PCA) e da Álgebra Multilinear (PARAFAC) para averiguar a associação entre o clima escolar com o desempenho acadêmico de alunos. **Educação & Linguagem**, Aracati, v. 10, n. 1, p. 1-22, jan./abr. 2023. Disponível em:

<https://www.fvj.br/revista/revista-educacao-e-linguagem/edicoes/redli-2023-1-jan-abr-2023/>. Acesso em: 02 maio 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (Brasil). **Censo da Educação Básica 2022**: notas estatísticas. Brasília, DF: Inep, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/censo-da-educacao-superior/resultados>. Acesso em: 15 nov. 2024.

IVALE, A. H.; SILVA, M. C.; NÄÄS, I.A. A scenario of the scientific publication on Industry 4.0 in Brazil: A bibliometric review. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. e10610513838, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.13838. Disponível em: <https://rsdjurnal.org/index.php/rsd/article/view/13838>. Acesso em: 18 out. 2024.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 2002.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, Jorge. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [s. l.], v. 374, n. 2065, p. 1-16. 2016. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2015.0202>. Acesso em: 15 nov. 2024.

JOSHI, Shreya. What is Clustering in Machine Learning: Types and Methods. **Analytixlabs**, Gurgaon, Índia, 5 ago. 2022. Série Machine Learning. Disponível em: [https://www.analytixlabs.co.in/blog/types-of-clustering-algorithms/#1\\_K-Means\\_clustering](https://www.analytixlabs.co.in/blog/types-of-clustering-algorithms/#1_K-Means_clustering). Acesso em: 15 nov. 2024.

KAISER, H. A second generation Little Jiffy. **Psychometrika**, [s. l.], vol. 35, n. 1, p. 401-415, dez. 1970. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02291817#citeas>. Acesso em: 04 dez. 2024.

KEELING, Kellin Beckford. A Regression equation for determining the dimensionality of data. **Multivariate Behavioral Research**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 457-46, 2000. Disponível em: [https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/S15327906MBR3504\\_02](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/S15327906MBR3504_02). Acesso em: 04 dez. 2024.

KOŘIL, D.; ŘEHŮŘEK, T.; VYSKOČIL, M. Evaluation of collaborative filtering algorithms for educational recommendation systems. **Journal of Educational Data Mining**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://jedm.educationaldatamining.org>. Acesso em: 15 nov. 2024.

LAVOR, João Ferreira; ANDRIOLA, Wagner Bandeira; LIMA, Alberto Sampaio. Avaliando o impacto da qualidade da gestão acadêmica no desempenho dos cursos de graduação: um estudo em universidade pública brasileira. **Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa**, Madrid, v. 8, n. 2, p. 233-254, 2016. Disponível em: <https://revistas.uam.es/index.php/riee/article/view/2887>. Acesso em: 15 nov. 2024.

LATTIN, James; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Multivariate data analysis**. Stamford, Connecticut: Cengage Learning, 2011.

LIMA, M. T.; BRAGA, A. E.; BARROSO, D. A. O PODCAST “ENGENHARIA DE QUÊ?”: Reflexões possíveis sobre o uso das Tecnologias de Informação para a formação profissional

do Engenheiro. **Revista Exitus**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. e023081, 2023. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.ufopa.edu.br/index.php/revistaexitus/article/view/2516>. Acesso em: 09 out. 2024.

MACEDO, Geisla M.; SAPUNARU, Raquel A. Uma breve história da engenharia e seu ensino no Brasil e no mundo: foco Minas Gerais. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, Petrópolis, v. 10, n. 1, p. 39-52, 2016. Disponível em: <https://seer.ucp.br/seer/index.php/REVCEC/article/view/594>. Acesso em: 15 nov. 2024.

MARTÍNEZ ARIAS, María del Rosario. **Psicometria: teoría de los tests psicológicos y educativos**. Madrid: Ediciones Sintesis, 1997.

MARTINS, Ana Carolina Gonçalves. **Investigação das diferenças entre gêneros na participação de discentes do curso de Engenharia de Produção Mecânica numa faculdade pública do Estado de SP**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2021.

MATOS, Daniel Abud Seabra; RODRIGUES, Erica Castilho. **Análise Fatorial**. Brasília, DF: Enap, 2019.

MELLO, A. R.; ANDREATTA-DA-COSTA, L. Análise da formação humanística, social e inovadora em cursos de Engenharia Civil de Pernambuco. **Revista Liberato**, [s. l.], v. 22, n. 37, p. 105–118, 2021. Disponível em: <https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/686>. Acesso em: 15 out. 2024.

MOHAN, Radha. **Measurement, Evaluation, and Assessment Education**. New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2016.

NANDAKUMAR, Ratna. Assessing dimensionality of a set of items: comparisons of different approaches. **Journal of Educational Measurement**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 17-35, 1994. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1435095>. Acesso em: 04 dez. 2024.

NUNES, Albano Oliveira; SILVA, Thomaz Edson; MOTA, João Cesar; ALMEIDA, André Ferrer; ANDRIOLA, Wagner Bandeira. Developing an Instrument for Assessment of Academic Management in Engineering Courses. **IEEE Latin América Transactions**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 264-271, 2015a. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7040657>. Acesso em: 04 dez. 2024.

NUNES, Albano Oliveira; SILVA, Thomaz Edson; MOTA, João Cesar; ALMEIDA, André Ferrer; ANDRIOLA, Wagner Bandeira. Validation of the academic management evaluation instrument based on principal component analysis for engineering and technological courses. **Ingeniería e Investigación**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 96-102, 2015b. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinv/article/view/47369>. Acesso em: 04 dez. 2024.

NUNES, Maria Simone Mendes *et al.* Avaliando a Inserção de Egressos de Cursos de Graduação da Área de Tecnologia da Informação no Mercado de Trabalho Regional Brasileiro. Um Estudo em Campi de Cidades do Interior. **Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa**, Madrid, v. 10, n. 2, p. 127-149, 2017. Disponível em: <https://revistas.uam.es/index.php/riee/article/view/8326>. Acesso em: 04 dez. 2024.

OLIVEIRA, K. R. B.; ANDRIOLA, W. B. Avaliação Institucional na Universidade Regional do Cariri (URCA): breve relato histórico. **Avaliação**, Sorocaba, v. 11, n. 01, p. 65-84, mar. 2006. Disponível em: [http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-40772006000100005&lng=pt&nrm=iso](http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-40772006000100005&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 15 nov. 2024.

OLIVEIRA, Alex Martins Oliveira *et al.* Um novo indicador para avaliar o insucesso dos alunos de graduação do centro de tecnologia da Universidade Federal do Ceará: um estudo comparativo de 2015.1 a 2022.2. **#Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, Canoas, v. 12, n. 2, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/tear/article/view/6851>. Acesso em: 29 nov. 2024.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Education at a Glance 2023: OECD Indicators**. Paris: OECD Publishing, 2023. Disponível em: [https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2023\\_e13bef63-en](https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2023_e13bef63-en). Acesso em: 15 nov. 2024.

PASQUALI, Luiz. **Psicometria: teoria e aplicações**. Brasília, DF: Ed. Universitária da UnB, 1997.

PEREIRA-GUIZZO, C. S. *et al.* Preditores de barreiras à criatividade de estudantes de Engenharia. **Estudos e Pesquisas em Psicologia**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 1026–1045, 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/revispsi/article/view/62708>. Acesso em: 9 out. 2024.

PIQUEIRA, J. R. C. Reflexões sobre a história do ensino de engenharia. **Porvir Inovações em Educação**, São Paulo, 27 jun. 2014. Série Engenharia. Disponível em: <https://porvir.org/reflexoes-sobre-historia-ensino-de-engenharia/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RENCHER, A. C. **Methods of multivariate analysis**. 2. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.

ROCHA, M. M. R. da; LIMA, A. S.; ANDRIOLA, W. B. Avaliação da evasão discente em cursos de graduação da área de engenharia. **Educação & Linguagem**, Aracati, v.7, n. 2, p.116-146, maio/ago. 2020. Disponível em: [https://www.fvj.br/revista/wp-content/uploads/2021/02/10\\_REdLi\\_2020.2.pdf](https://www.fvj.br/revista/wp-content/uploads/2021/02/10_REdLi_2020.2.pdf). Acesso em: 04 dez. 2024.

SANTOS JUNIOR, José da Silva; REAL, Giselle Cristina Martins. Reprovação induz evasão? Aspectos da trajetória acadêmica no curso de Matemática-Licenciatura em uma instituição federal de Educação Superior. **Educação e Fronteiras**, Dourados, v. 10, n. 29, p. 57–71, 2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/educacao/article/view/14171>. Acesso em: 04 dez. 2024.

SANTIAGO, A. F. *et al.* Two decades of the environmental engineering in the view of graduates from Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 8, p. e94985064, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5064>. Acesso em: 14 out. 2024.

SHLENS, Jonathon. A tutorial on principal component analysis. **Analytixlabs**, Gurgaon, Índia, 3 abr. 2014. Série Machine Learning. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1404.1100>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SILVA; C. A. *et al.* Política de Assistência Educacional e a Taxa de Sucesso da Graduação das Universidades Públicas Federais. **Revista Brasileira de Política e Administração da Educação**, Brasília, DF, v. 34, n. 3, p. 837-863, set./dez. 2018. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbpae/article/view/86284>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SILVA, Thomaz Edson Veloso da. **Eduometrics: from theory to application**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Teleinformática) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017a.

SILVA, Thomaz Edson Veloso da *et al.* QEOOn questionnaire for assessing experiences in virtual learning environments. **IEEE Latin America Transactions**, [s. l.], v. 15, n. 6, p. 1197-1204, 2017b. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7932709>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SILVA, Thomaz Edson Veloso da *et al.* Multivariate analysis for students' evaluation of teaching effectiveness in teleinformatics engineering. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEACHING, ASSESSMENT, AND LEARNING FOR ENGINEERING (TALE), 1., 2012, Hong Kong. **Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE) 2012**. Hong Kong: IEEE, 2012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/6337030/proceeding>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SILVA, Thomaz Edson Veloso da; MOTA, João Cesar Moura. Eduometrics: Principles, Issues and Possible Applications. **ResearchGate**, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338901084\\_Eduometrics\\_Principles\\_Issues\\_and\\_Possible\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/338901084_Eduometrics_Principles_Issues_and_Possible_Applications). Acesso em: 15 nov. 2024.

SMILDE, Age; BRO, Rasmus; GELADI, Paul. **Multi-Way analysis with applications in the chemical sciences**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

TYLER, Ralph Winfred. **Basic principles of curriculum and instruction**. Chicago: University of Chicago Press, 1949.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. Verbas de custeio caem 45% e investimento despenca 50% em universidades federais no governo Bolsonaro. **SOU\_CIÊNCIA**. São Paulo, 19 out. 2022. Categoria: Universidade em pauta. Disponível em: <https://souciencia.unifesp.br/destaques/universidade-em-pauta/verbas-de-custeio-caem-45-e-investimento-despenca-50-em-universidades-federais-no-governo-bolsonaro#:~:text=A%20an%C3%A1lise%20mostra%20ainda%20que,apenas%20R%EF%BC%84%20129%20milh%C3%B5es>. Acesso em: 15 nov. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Apresentação e Histórico do Centro de Tecnologia** – Uma tradição que se renova, Fortaleza: UFC, 2024a. Disponível em: <https://ct.ufc.br/pt/sobre-o-centro-de-tecnologia/apresentacao-e-historico-do-ct/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Painéis Estratégicos da UFC**. Fortaleza: UFC, 2024b. Disponível em: <https://paineis.ufc.br/#features>. Acesso em: 03 dez. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica**. Fortaleza: UFC, 2005. Disponível em: <https://prograd.ufc.br/pt/cursos-de-graduacao/engenharia-eletrica-fortaleza/>. Acesso em: 15 maio 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica**. Fortaleza: UFC, 2023. Disponível em: <https://prograd.ufc.br/pt/cursos-de-graduacao/engenharia-eletrica-fortaleza/>. Acesso em: 20 dez. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Sobre a Comissão Própria de Avaliação**. Fortaleza: UFC, 2024c. Disponível em: <https://cpa.ufc.br/pt/sobre-a-comissao-propria-de-avaliacao/conceitos-basicos/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas**. Fortaleza: UFC, 2024d. Disponível em: <https://si3.ufc.br/sigaa/public/sisu/resultadoMatriculaAnosAnteriores.jsf;jsessionid=EDBFA8FC86FBB2ECD98203C2D8FE3AE9.node22>. Acesso em: 15 nov. 2024.

VASCONCELOS, Francisco Herbert Lima. **Análise do contexto e dos resultados da aprendizagem da avaliação educacional em um curso de graduação em Engenharia**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Teleinformática) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015a.

VASCONCELOS, Francisco Herbert Lima; SILVA, Thomaz Edson Veloso da; MOTA, Joao Cesar Moura. Multilinear educational data analysis for evaluation of engineering education. **IEEE Latin America Transactions**, [s. l.], v. 13, n. 8, p. 2785-2791, 2015b. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7332163>. Acesso em: 15 nov. 2024.

VASCONCELOS, Francisco Herbert Lima; SILVA, Thomaz Edson Veloso da; MOTA, João Cesar Moura. The context and outcomes of learning in educational evaluation an engineering course. **IEEE Latin America Transactions**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 2447-2453, 2015c. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7273811>. Acesso em: 15 nov. 2024.

VIANNA, Heraldo Marelim. Avaliação educacional: uma perspectiva histórica. **Estudos em Avaliação Educacional**, São Paulo, v. 25, n. 60 (especial), p. 14–35, 2014. Disponível em: <https://publicacoes.fcc.org.br/eae/article/view/3308>. Acesso em: 15 nov. 2024.

VIEIRA, Márcia de Freitas; SILVA, Carlos Manuel Seco da. A Educação no contexto da pandemia de COVID-19: uma revisão sistemática de literatura. **Revista Brasileira de Informática na Educação – RBIE**, Porto Alegre, v. 28, n. 1, p. 1013-1031, 2020. Disponível em: <https://www.brie.org/pub/index.php/rbie/article/view/v28p1013/6750>. Acesso em: 04 dez. 2024.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. **Global Innovation Index 2024: unlocking the promise of social entrepreneurship**. 17. ed. Genebra: WIPO, 2024. Disponível em: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2024-en-global-innovation-index-2024-17th-edition.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2024.