

# A Mathematical Model Used in Repairs for Electric Power Distribution Network

J. L. C. Silva, J. B. F. Arruda and B. C. H. Silva

**Abstract**— This paper presents a mathematical model applied in the problem of determining the optimal number of teams used in handling events generated by breakdowns in the distribution system of electric power or preventive maintenance services. The model proved to be an excellent tool to quantify the optimal number of teams to attend the services requested of low and medium voltage. The model succeeded in solving the problem where several computational experiments were performed based on actual data provided by a distributor of electricity. The results of computational experiments show as quantified the number of teams per day, month, semester or year.

**Keywords**— Mathematical Model, Operational Research, Preventive Maintenance Services.

## I. INTRODUÇÃO

A QUANTIDADE de usuários que solicita atendimento de urgência nas empresas de distribuição de energia elétrica nas cidades vem crescendo bastante. Fatores como o crescimento populacional e o aumento na distribuição de renda das famílias brasileiras, entre outros, geram demanda por mais energia elétrica, aumentando a distribuição e a carga de serviços na manutenção e atendimento de ocorrências. Neste contexto, apresenta-se um modelo matemático, baseado em Pesquisa Operacional, que pode ser utilizado para dimensionar o número ideal de equipes usadas no atendimento das ocorrências geradas por panes no sistema de distribuição de energia elétrica ou serviços de manutenção preventiva.

Definiu-se uma metodologia que permite determinar de forma otimizada o dimensionamento de equipes de atendimento com base nas informações cadastradas no atendimento emergencial, através do *Call Center* da empresa. Neste setor, as atendentes processam e acompanham todas as informações dos clientes que geram ordens de serviços para realizar defeitos na rede de distribuição de energia em todo o estado do Ceará. As informações ficam registradas num banco de dados da Companhia Energética do Ceará (*COELCE*).

A quantidade de serviços solicitados pelos usuários da *COELCE* é bastante significativa e, além disso, variável de acordo com a hora do dia (diurno ou noturno), dia da semana (útil, feriado ou final de semana), estação do ano (seca ou com chuvas intensas), localização do usuário (condições dos equipamentos da rede), dentre outros. Há, ainda, os dias

considerados totalmente atípicos, com rajada de ventos e tempestades, ocasionando danos em vários locais da rede elétrica simultaneamente. Diante deste contexto, as tarefas de dimensionar as equipes de trabalho da concessionária para uma região, assim como a de se designar a equipe mais próxima disponível e com o equipamento necessário para atender a uma determinada ocorrência, tornam-se extremamente árduas e complexas. O número de equipes pode mudar de acordo com as variações das solicitações.

Os serviços de atendimento podem ser do tipo: ligações de unidades consumidoras monofásica, bifásica, trifásica, temporária sem medição, confirmação de leitura, religação de consumidores desligados, corte de energia de consumidores inadimplentes, desligamento a pedido do cliente, padronização de entrada de serviço, aumento de carga, substituição de medidores, vistorias em geral, conserto de cabos caídos, atendimento a clientes VIPs, corte indevido, falta geral de luz, ramal "derretendo", roubo de ramal de ligação, dentre outros.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (*ANEEL*), órgão público responsável por fiscalizar as empresas de distribuição de Energia Elétrica no Brasil, impõe às concessionárias de energia elétrica, prazos de atendimento às diversas solicitações dos consumidores. Para que a concessionária atinja tais metas, faz-se necessário dimensionar as equipes de trabalho para a execução dos serviços de maneira otimizada, para que não haja excesso (acarretando prejuízos a *COELCE*) ou escassez (muitas junto a *ANEEL*) de equipes por empresa, visando um atendimento satisfatório aos usuários.

A seguir um breve relato sobre o estado da arte que trata do assunto aqui abordado. O modelo utilizado em [1] propõe uma solução para a elaboração e designação de jornadas de trabalho em uma central telefônica de atendimento 24 horas, utilizando três técnicas de Pesquisa Operacional, aplicadas sequencialmente. Em [2] faz-se a aplicação do Algoritmo do Matching de Peso Máximo na elaboração de jornadas de trabalho para motoristas e cobradores de ônibus, o qual deve ser resolvido levando-se em consideração o maior aproveitamento possível das tabelas de horários, com o objetivo de minimizar o número de funcionários, de horas extras e de horas ociosas. Algoritmos heurísticos, que são baseados na construção manual das tabelas de horários para motoristas e cobradores de ônibus, além da técnica da Programação Dinâmica, são usados em [3].

A geração de horários de enfermeiros é dada em [4], atendendo as regras requeridas pela categoria e a demanda de pessoal objetivando minimizar os custos envolvidos e maximizar a preferência dos enfermeiros por horários e, também, a qualidade dos serviços. Enquanto [5] apresenta um

J. L. C. Silva, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil, lassance@lia.ufc.br

J. B. F. Arruda, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil, barruda@glen.ufc.br

B. C. H. Silva, Faculdade Integrada do Ceará (FIC), Fortaleza, Ceará, Brasil, Breno-honorato@hotmail.com

método para designar atendentes aos horários de suas preferências, levando em consideração o tempo de serviço, priorizando os funcionários mais antigos. O problema de escala de horários para tripulação de empresas aéreas tem sido abordado por diversas formas: [6], [7] e [8]. A experiência em utilizar um sistema computacional, denominado *Hastus*, em um contexto regional é dado em [9], onde o transporte público é normalmente destacado pelo alto nível de inter-relação entre os horários dos veículos e condutores; casos estudados na França e na Alemanha usando a abordagem também são abordados apresentando economias de 3% a 5%. O Caso do sistema *Tracs II*, descrito em [10], foi usado para a construção de horários para condutores de trens na Inglaterra; o artigo em questão relata os problemas de construção de horários para condutores de ônibus e condutores de trens.

Uma técnica desenvolvida na Universidade de Leeds para a construção de jornadas de trabalho de motoristas de ônibus, com cada jornada tendo duração próxima do padrão ideal de cada cidade, foi apresentado em [11]. Já em [12] e [13] são descritos modelos para a construção de jornadas de trabalho para diferentes tipos de equipes, onde considera-se inicialmente uma tabela de serviços a ser cumprida diariamente em certos períodos de tempo, definindo-se alguns segmentos de jornadas de trabalho, os tempos inicial e final de uma jornada, além das estações de entrada e de saída para um funcionário. Esta metodologia serviu de base para o desenvolvimento do nosso modelo matemático, permitindo dimensionar o número ideal/ótimo de equipes de trabalho em determinados horários para atender a demanda solicitada de serviços.

As próximas seções deste artigo estarão organizadas da seguinte forma: na seção 2 será apresentado o modelo matemático para a resolução do problema. A seção 3 apresentará a aplicação do modelo matemático e os resultados obtidos. Por fim, na seção 4 estarão as considerações finais.

## II. DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Neste estudo, apenas as equipes que fazem serviços de Baixa e Média Tensão (*BT* e *MT*) foram consideradas, pois não encontramos dados consistidos nos registros da COELCE sobre os serviços de Alta Tensão (*AT*) durante o período de um ano. As equipes que trabalham em *BT* também podem realizar serviços em *MT*, e vice-versa. Para o dimensionamento das equipes, as seguintes informações foram consideradas:

- Tempo de Atendimento (*TA*) é constituído pelo Tempo de Espera (*TE*) mais o Tempo de Deslocamento (*TD*) da viatura até o local da incidência mais o Tempo de Reparo (*TR*) usado para fazer o conserto da incidência, ou seja,  $TA=TE+TD+TR$ .

- O modelo pode levar em consideração o tempo de atendimento com e sem o tempo de espera dos serviços a cada hora do dia. Estes dados estão descritos na Tabela 1 para o mês de novembro. A referida tabela apresenta-se com 3 colunas: Horário, *TA* e *TA\** (tempo de atendimento sem o tempo de espera). A Tabela 1 mostra que os maiores picos de

incidências ocorreram nos horários de 7 as 11 horas, neste mês, conforme coluna *TA\**.

- A possibilidade das equipes terem turnos/jornadas de 4, 6 ou 8 horas, podendo iniciar somente a cada início de hora do dia, ou seja, 0:00, 1:00, ..., 23:00 horas. Para o caso de jornada de 8 horas há uma hora de descanso, na metade do turno.

TABELA I. TEMPO DE ATENDIMENTO DAS INCIDÊNCIAS EM NOVEMBRO.

HORÁRIO	TA	TA*
0	4501	1381
1	4738	1106
2	6187	1358
3	2002	755
4	7300	2105
5	8610	2953
6	13581	4770
7	31861	9040
8	37381	11138
9	33666	9376
10	43441	10558
11	37865	9280
12	27993	7097
13	30318	7775
14	21245	6075
15	29955	7971
16	32378	7483
17	30838	8048
18	45398	8046
19	35190	6619
20	30648	4293
21	24027	5488
22	20249	3414
23	5116	1504

O modelo proposto leva em consideração as seguintes variáveis e dados:

- $i$  = horas "cheias" do dia ( $i = 0, 1, 2, \dots, 23$ );
- $T_i = TD_i + TR_i$ , tempo total (em minutos) de atendimento necessário, sem espera, para realizar todos os serviços durante a hora  $i$ . Esse tempo encontra-se na última coluna da Tabela 1;
- $D_i$  = quantidade de equipes necessárias para atender a demanda de serviços na hora  $i$ , dada por:  $D_i = T_i / (60 \times 30)$ , para novembro, e  $D_i = T_i / 60$ , para um dia do mês;
- $X_i$  = número de equipes com jornada de 8 horas que inicia seu trabalho na hora  $i$ ;
- $Y_{015}, Y_{16}, Y_{17}, Y_{18}, Y_{19}, Y_{20}, Y_{21}, Y_{22}$  e  $Y_{23}$  são as variáveis que determinam o número de equipes para atender especificamente o valor do Tempo Médio de Atendimento (*TMA*) usado pela empresa, atendendo as normas da ANEEL.  $Y_{015}$  define o número de equipes que pode entrar em qualquer horário de 0 hora às 15 horas, enquanto as demais variáveis têm seus horários especificados de acordo com seu índice que varia de 16 horas às 23 horas.
- $R = (ST/NAV - TMA) / 480$ , onde  $ST$  é o tempo total de

atendimento das incidências, dado em minutos, gastos para atender todos as incidências do dia ou mês com tempo de espera incluído,  $NAV$  é o número total de incidências levadas em consideração. Quando estiver trabalhando com dados integrais do dia, e não do mês, substituir 480 (equivalente a 8 horas) por 60 (equivalente a 1 hora).  $R$  representa o adicional das horas gastas para o cumprimento de atendimento das incidências com TMA especificado. Quando o TMA informado for maior que  $ST/NAV$  determina-se o valor 0 (zero) para  $R$ , isto deve-se ao fato que o TMA informado já está sendo atendido por  $ST/NAV$ .

Considerando que cada equipe trabalha 8 horas por dia, com intervalo de 1 hora para descanso/lanche, desenvolveu-se o modelo matemático, dado abaixo, que pode ou não levar em consideração o Tempo Médio de Atendimento exigido pela ANEEL. O modelo matemático é constituído da função objetivo (1) que minimiza o número de equipes, 24 restrições de cumprimento de horários, equações (2)-(25), e 01 restrição que faz com que o TMA seja alcançado, dada pela equação (26). O modelo tem baixa complexidade: 33 variáveis e 26 restrições. Retira-se a equação (26) quando a empresa não quiser levar em consideração as exigências da ANEEL. A restrição (27) determina que todas as variáveis do modelo sejam não negativas e inteiras, conforme foram definidas.

**Minimizar**  $X_0+X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7+X_8+X_9+X_{10}+X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16}+X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{20}+X_{21}+X_{23}+X_{23}+Y_{01}+Y_{05}+Y_{16}+Y_{17}+Y_{18}+Y_{19}+Y_{20}+Y_{21}+Y_{22}+Y_{23}$  (1)

- Sujeito a:**
- $X_0+X_{23}+X_{22}+X_{21}+X_{19}+X_{18}+X_{17}+X_{16} \geq D_0$  (2)
  - $X_1+X_0+X_{23}+X_{22}+X_{20}+X_{19}+X_{18}+X_{17} \geq D_1$  (3)
  - $X_2+X_1+X_0+X_{23}+X_{21}+X_{20}+X_{19}+X_{18} \geq D_2$  (4)
  - $X_3+X_2+X_1+X_0+X_{22}+X_{21}+X_{20}+X_{19} \geq D_3$  (5)
  - $X_4+X_3+X_2+X_1+X_{23}+X_{22}+X_{21}+X_{20} \geq D_4$  (6)
  - $X_5+X_4+X_3+X_2+X_0+X_{23}+X_{22}+X_{21} \geq D_5$  (7)
  - $X_6+X_5+X_4+X_3+X_1+X_0+X_{23}+X_{22} \geq D_6$  (8)
  - $X_7+X_6+X_5+X_4+X_2+X_1+X_0+X_{23} \geq D_7$  (9)
  - $X_8+X_7+X_6+X_5+X_3+X_2+X_1+X_0 \geq D_8$  (10)
  - $X_9+X_8+X_7+X_6+X_4+X_3+X_2+X_1 \geq D_9$  (11)
  - $X_{10}+X_9+X_8+X_7+X_5+X_4+X_3+X_2 \geq D_{10}$  (12)
  - $X_{11}+X_{10}+X_9+X_8+X_6+X_5+X_4+X_3 \geq D_{11}$  (13)
  - $X_{12}+X_{11}+X_{10}+X_9+X_7+X_6+X_5+X_4 \geq D_{12}$  (14)
  - $X_{13}+X_{12}+X_{11}+X_{10}+X_8+X_7+X_6+X_5 \geq D_{13}$  (15)
  - $X_{14}+X_{13}+X_{12}+X_{11}+X_9+X_8+X_7+X_6 \geq D_{14}$  (16)
  - $X_{15}+X_{14}+X_{13}+X_{12}+X_{10}+X_9+X_8+X_7 \geq D_{15}$  (17)
  - $X_{16}+X_{15}+X_{14}+X_{13}+X_{11}+X_{10}+X_9+X_8 \geq D_{16}$  (18)
  - $X_{17}+X_{16}+X_{15}+X_{14}+X_{12}+X_{11}+X_{10}+X_9 \geq D_{17}$  (19)
  - $X_{18}+X_{17}+X_{16}+X_{15}+X_{13}+X_{12}+X_{11}+X_{10} \geq D_{18}$  (20)
  - $X_{19}+X_{18}+X_{17}+X_{16}+X_{14}+X_{13}+X_{12}+X_{11} \geq D_{19}$  (21)
  - $X_{20}+X_{19}+X_{18}+X_{17}+X_{15}+X_{14}+X_{13}+X_{12} \geq D_{20}$  (22)
  - $X_{21}+X_{20}+X_{19}+X_{18}+X_{16}+X_{15}+X_{14}+X_{13} \geq D_{21}$  (23)
  - $X_{22}+X_{21}+X_{20}+X_{19}+X_{17}+X_{16}+X_{15}+X_{14} \geq D_{22}$  (24)
  - $X_{23}+X_{22}+X_{21}+X_{20}+X_{18}+X_{17}+X_{16}+X_{15} \geq D_{23}$  (25)
  - $Y_{015}+Y_{16}+Y_{17}+Y_{18}+Y_{19}+Y_{20}+Y_{21}+Y_{22}+Y_{23} \geq R$  (26)
  - $X_i, Y_{015}, Y_{16}, Y_{17}, Y_{18}, Y_{19}, Y_{20}, Y_{21}, Y_{22} \text{ e } Y_{23} \geq 0 \text{ e inteiras, } \forall i=0, \dots, 23.$  (27)

Este modelo matemático tem como objetivo principal determinar o número mínimo de equipes para atender todos os serviços solicitados pelos usuários num determinado dia, mês, bimestre, trimestre, quadrimestre, semestre ou ano.

Com os dados da Tabela 1, calcula-se os  $D_i, i = 0, 1, 2, \dots, 23$ , para cada período. Foi desenvolvido um programa computacional, implementado em Linguagem C++, que gera o respectivo modelo matemático. Usa-se um software de programação linear inteira/mista para determinar a solução ótima do modelo matemático. Interpreta-se o resultado do modelo conforme descreve-se a seguir.

III. EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Uma bateria de testes com e sem o tempo de espera foi realizada para todos os dias do mês de novembro, com o TMA variando de 40, 60, 80, 100 e 120 minutos.

TABELA II. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO.

Dia	TMA					STE
	40	60	80	100	120	
1	26	24	21	19	17	17
2	21	19	16	15	15	15
3	41	38	35	32	29	21
4	36	33	30	27	25	22
5	24	21	19	16	15	15
6	50	47	44	41	38	36
7	23	20	18	16	14	13
8	29	27	24	22	19	16
9	13	11	10	9	9	9
10	18	16	14	13	13	13
11	29	26	23	20	18	18
12	28	26	23	20	19	19
13	31	28	25	22	21	21
14	244	235	226	217	208	40
15	117	113	107	105	102	19
16	22	20	19	17	16	11
17	25	22	20	17	14	14
18	28	25	23	20	17	17
19	29	26	23	21	21	21
20	26	23	21	18	17	17
21	12	11	10	9	8	8
22	19	17	14	13	13	13
23	16	14	12	11	11	11
24	45	42	40	38	36	30
25	39	36	32	29	26	23
26	35	32	29	25	22	20
27	40	36	33	30	27	23
28	28	26	24	21	19	16
29	28	26	23	21	18	15
30	24	23	21	19	17	16
<b>Máximo</b>	<b>244</b>	<b>235</b>	<b>226</b>	<b>217</b>	<b>208</b>	<b>40</b>
<b>Média</b>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>18</b>
<b>Mês</b>	<b>32</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>13</b>

A solução ótima de cada problema foi colocada na Tabela 2, dada anteriormente, onde destaca-se o número ideal de

equipes para cada dia do mês, conforme a variação do TMA e sem o TMA (*STE*). A última linha desta tabela informa os resultados obtidos com a aplicação do modelo para o mês integral. A tabela ainda informa o número máximo e a média de equipes obtidos com a aplicação diária do modelo.

Pode-se ver que os resultados obtidos com a modelagem com TMA são muitos superiores aos resultados sem TMA. A média global para a modelagem com TMA foi de 38, 35, 33, 30 e 28 equipes para TMA de 40, 60, 80, 100 e 120 minutos, respectivamente, enquanto sem TMA foi de 18 equipes, menos da metade do maior valor.

Devido a isto, executou-se o modelo com dados mensais para o ano todo, onde constatou-se que os meses de abril, maio, junho, agosto e setembro repetiu-se o número de equipes ideal para TMAs diferentes, isto significa que o TMA não foi tão significativo para a alocação das equipes e sim a demanda de serviços nesses meses. O mês de junho foi o que obteve menor impacto no TMA, onde o número de equipes ficou constante em 26, variando de 70 a 120 minutos. A média do número de equipes do mês de março foi maior que a média de equipes do mês de dezembro, porém dezembro obteve a maior média de equipes ociosas. O total de horas ociosas por dia das equipes é muito menor quando não se quer levar em consideração o TMA.

TABELA III. DISTRIBUIÇÃO DAS EQUIPES, DE 0 AS 11 HORAS, EM 01/11.

H	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0												
1												
2			2	2	2	2		2	2	2	2	
3				1	1	1	1		1	1	1	1
4												
5						1	1	1	1		1	1
6												
7												
8									3	3	3	3
9												
10											6	6
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17	2	2										
18												
19												
20												
21												
22												
23												
<i>Di</i>	0	0	0	0	0	4	2	1	5	5	13	5
<i>Eqp</i>	2	2	2	3	3	4	2	3	7	6	13	11
<i>Dif</i>	2	2	2	3	3	0	0	2	2	1	0	6

TABELA IV. DISTRIBUIÇÃO DAS EQUIPES, DE 12 AS 23 HORAS, EM 01/11.

H	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0												
1												
2												
3												
4												
5	1	1										
6												
7												
8		3	3	3	3							
9												
10	6	6		6	6	6	6					
11												
12	2	2	2	2		2	2	2	2			
13												
14												
15												
16												
17							2	2	2	2		2
18												
19												
20												
21												
22												
23												
<i>Di</i>	3	10	4	4	2	4	10	1	1	0	2	0
<i>Eqp</i>	9	12	5	11	9	10	10	4	4	0	2	2
<i>Dif</i>	6	2	1	7	7	6	0	3	3	0	0	2

As Tabelas 3 e 4 mostram como se dá a distribuição das 17 equipes no primeiro dia do mês, com base na resolução do modelo matemático diário. O Layout da tabela caracteriza a distribuição das equipes com base nos resultados obtidos do modelo matemático. Nesta tabela, encontram-se também as seguintes informações: *Di*, o número de equipes necessárias em cada horário; *Eqp*, o número de equipes designadas pelo modelo para aquele horário; e *Dif*, a diferença que mede o excesso de equipes por horário ( $Eqp-Di$ ). Veja que quando o *Dif* é maior que zero há excesso de equipe no horário, por exemplo: excesso de 3 equipes no horário das 03h00 as 04h00, conforme dados da Tabela 3. Não há equipes em excesso em 6 horários. As Tabelas 3 e 4 mostram a alocação das 17 equipes, sem levar em consideração o TMA, distribuídas nos 24 horários de entrada deste mesmo dia.

#### IV. CONCLUSÃO

O modelo matemático utilizado aqui, aplicado em cada período, tem como objetivo principal designar um número de equipes ideal/otimizado com base no atendimento especificado em cada hora do dia. O tipo de jornada de trabalho adotado foi equipes com jornada de 8 horas com intervalo de 1 hora, seguindo a orientação da empresa. Poderia ser usadas equipes com diferentes jornadas de trabalho como 4

e 6 horas, fazendo com diminuísse ainda mais o número de equipes ideal. Isto minimizaria o número de equipes ociosas diariamente como mostrou os experimentos.

A resolução do modelo permite fazer algumas considerações explícitas:

- Avaliou-se mais precisamente os resultados dos modelos que não levam em consideração o TMA, pois estes casos estão mais próximos da realidade empresarial onde os dados tratam exclusivamente dos tempos de deslocamento e reparo que são efetivamente usados nas jornadas de trabalho das equipes. Ao contrário dos modelos que usam o TMA, onde está sendo computado o tempo de espera para equipe que não utiliza realmente este tempo dentro da sua jornada de trabalho, gerando prejuízo para empresa. Quando embute o TMA no estudo acontece uma quantidade enorme de horas ociosas, conforme mostrou os dados das Tabelas 3 e 4.
- Atender um determinado TMA significa ter equipes que podem ocasionar muita ociosidade. Os resultados obtidos através dos experimentos mostram que a ociosidade (equipes em excesso) é inversamente proporcional ao valor do TMA, quanto menor for o TMA maior será a ociosidade. Há casos em que o TMA grande gerou o mesmo resultado sem TMA.
- A eficiência e a eficácia do modelo foram relevantes para atender a logística da empresa e as exigências da ANEEL.

Portanto, com base nesta avaliação, concluí-se que a melhor opção seria aplicar os resultados encontrados na análise feita sem levar em consideração o TMA, pois está acarretaria menores custos operacionais para a COELCE. Entretanto, sabe-se que talvez isto poderia acarretar na insatisfação dos índices de avaliação determinados pela ANEEL. O modelo apresentado é inédito com a restrição do TMA.

#### REFERÊNCIAS

- [1] A. O. Barboza, C. Carnieri, M. T. A. Steiner and P. Siqueira, "Técnicas da pesquisa operacional na otimização de horários de atendentes em centrais telefônicas", *Gestão & Produção*, Vol.10, No.1, p. 109-127, 2003.
- [2] P. H. Siqueira, C. Carnieri, M. T. A. Steiner and A. Barboza, "Uma proposta de solução para o problema da construção de escalas de motoristas e cobradores de ônibus através do algoritmo do matching de peso máximo", *Gestão & Produção*, v.11, n.2, p.187-196, 2004.
- [3] C. Carnieri and M. T. A. Steiner, "A System for bus drivers scheduling", *Euro XV / XXIV Inform.* Barcelona, Espanha, 1997.
- [4] B. Jaumard, F. Semet and T. Vovor, "A generalized linear programming model for nurse scheduling", *European Journal of Operational Research*, v.107, p.1-18, 1998.
- [5] M. L. Kodialam and T. V. Lakshman, "Minimum interference routing with applications to MPLS traffic engineering", G. M. Thompson, "Assigning telephone operators to shifts at new brunswick telephone company", *Interfaces*, v.27, July-August, p.1-11, 1997.
- [6] M. Gamache, F. Soumis, G. Marquis and J. Desrosiers, "A Column generations approach for large-scale aircrew rostering problems", *Operations Research*, v. 47, n.2, p.247-263, 1999.
- [7] K. L. Hoffman and M. Padgerg, "Solving airline crew scheduling problems by ranchand-cut", *Management Science*, v.39, n.6, p.657-683, 1993.
- [8] G. W. Graves, R. D. Mcbride, I. Gershkoff, D. Anderson and D. Mahidhara, "Flight crew scheduling", *Management Science*, v.39, n.6, p.736-745, 1993.
- [9] J. M. Rousseau, "Scheduling Regional Transportation with Hastus", Computer-Aided Scheduling of Public Transport (CASPT), Berlin, Germany, 2000.
- [10] A. S. K. Kwan, R. S. K. Kwan, M. E. Parker and A. Wren, "Proving the versatility of automatic driver scheduling on difficult train & bus problem", Computer-Aided Scheduling of Public Transport (CASPT), Berlin, Germany, 2000.
- [11] A. Wren. and N. D. F. Gualda, "Integrated scheduling of buses and drivers", *Research Report Series*, School of Computer, University of Leeds, England, 1997.
- [12] A. Caprara, M. Monaci and P. Toth, "Models and algorithms for staff scheduling problems", *IV ALIO/EURO Workshop in Applied Combinatorial Optimization*, Pucón, Chile, 2002.
- [13] M. T. A. Steiner, C. E. S. Costa, D. M. B. Costa and E. A. F. Zambenedetti, "Técnicas da pesquisa operacional aplicadas à logística de atendimento aos usuários de uma rede de distribuição de energia elétrica", *Sistema & Gestão*, Vol. 1, No. 3, p. 229-243, 2006.



**José Lassance de Castro Silva** tem graduação em Matemática, pela Universidade Federal do Ceará (1990), e Web-Design e Programação, pela Universidade do Sul de Santa Catarina (2010), Especialização em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1992), Mestrado em Matemática Aplicada pela Universidade Federal do Ceará (1996) e Doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2002). É professor associado da Universidade Federal do Ceará, desde 1992. Consultor ad hoc do MEC/INEP e da CAPES. Possui experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em análise e complexidade de algoritmos, otimização combinatória, heurísticas, meta-heurísticas, programação linear inteira/mista e desenvolvimento de sistemas para internet/intranet.



**João Bosco Furtado Arruda** possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (1974), mestrado em Engenharia de Transportes pela COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro (1980) e PhD em Planejamento dos Transportes pelo Institute for Transport Studies (ITS/University of Leeds - 1995). Desde 1998 é Professor Titular da Universidade Federal do Ceará, liderando o Grupo de Estudo e Pesquisa em Infra-estruturas de Transporte e Logística da Energia (GLEN/UFC). Tem experiência nas áreas de Logística da Energia e Engenharia de Transportes, com ênfase em métodos de apoio à decisão, análise macrologística e análise de viabilidade logística e econômica.



**Breno de Castro Honorato Silva** nasceu na cidade de Fortaleza, estado do Ceará, Brasil, em 09 de dezembro de 1992. Está cursando o penúltimo semestre do curso Superior de Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Faculdade Integrada do Ceará (FIC). Tem experiência no desenvolvimento de sistemas computacionais com ferramentas modernas para internet e intranet. Atualmente suas pesquisas se concentram na área de banco de dados, desenvolvimento de sistemas computacionais e linguagem de programação Java, C++ e PHP.