

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Mariana Soncini Minuzzi

**DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES NO SETOR DE DISTRIBUIÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA**

Santa Maria, RS
2017

Mariana Soncini Minuzzi

**DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES NO SETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de graduação em
Engenharia de Produção, da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Lynceo Falavigna Braghirolli

Santa Maria, RS
2017

DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES NO SETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

WORKFORCE SCHEDULING APPLIED TO ELECTRICAL DISTRIBUTION SECTOR

Mariana Soncini Minuzzi¹; Lynceo Falavigna Braghirilli²

RESUMO

O aumento na demanda por energia tem feito com que as concessionárias busquem por melhorias em seus processos a fim de assegurar o desenvolvimento social e econômico do país. Uma das formas de melhoria, é o dimensionamento de equipes nos turnos de trabalho, considerado um problema complexo para a maioria das organizações, que possibilita o atendimento da demanda a um custo reduzido. Nesse contexto, o estudo busca desenvolver um método para dimensionar o número de equipes de uma concessionária de energia através de um modelo de dimensionamento de capacidade de mão-de-obra, considerando a variabilidade da demanda. O método da pesquisa classifica-se como natureza aplicada, sendo elaborado a partir de três etapas: desenvolvimento do modelo de dimensionamento da capacidade, desenvolvimento da sistemática de avaliação do impacto da variabilidade e aplicação do modelo com dados reais. Como principal resultado, obteve-se um modelo de dimensionamento válido, onde foram utilizados cenários como forma de avaliar a variabilidade da demanda. O cenário que contempla 80% da demanda resultou no melhor desempenho econômico e operacional para a concessionária.

Palavras-chave: Dimensionamento de equipes, concessionária de energia, energia elétrica, distribuição

ABSTRACT

The increase in the demand for energy has caused the concessionaires to seek improvements in their processes in order to ensure the social and economic development of the country. One of the ways of improvement is the sizing of teams in work shifts, considered a complex problem for most organizations, which makes it possible to meet demand at a reduced cost. In this context, the study seeks to develop a method to scale the number of teams of an energy concessionaire through a model of labor capacity sizing, considering the variability of demand. The research method is classified as applied nature, being elaborated from three stages: development of the capacity sizing model, development of the systematic evaluation of the impact of variability and application of the model with real data. As a main result, a valid sizing model was obtained, where scenarios were used as a way of evaluating the demand variability. The scenario that contemplates 80% of the demand resulted in the best economic and operational performance for the concessionaire.

Keywords: Workforce scheduling, power distribution company, electric power, distribution

¹ Autora, graduanda do curso de Engenharia de Produção da UFSM.

² Orientador, professor doutor do curso de Engenharia de Produção da UFSM

1 INTRODUÇÃO

Os serviços de distribuição de energia tornaram-se fundamentais para garantir o desenvolvimento econômico e social de um país (BATISTA et al., 2013) e vêm apresentando um alto crescimento como mostram as projeções do Plano Nacional de Energia 2030, que apontam que o Brasil terá em 2030 uma demanda energética final com valores entre 134% a 244% maiores do que a demanda verificada em 2005 (BRASIL, 2007). Diante dessa perspectiva, para que empresas deste ramo garantam que o atendimento à demanda seja apropriado, a mensuração do desempenho de sistemas internos e a evolução dos mesmos se torna imprescindível (WANG; TANG; HUO, 2013).

Visando um atendimento satisfatório aos usuários, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) impõe às concessionárias de energia, prazos de atendimentos às diversas solicitações dos consumidores, controlando esses prazos através de indicadores. Exemplificados por Zhu (2009) os indicadores mais relevantes se dão em relação a falhas no sistema de distribuição, denominadas de falta, e geralmente ocorrem em decorrência de eventos climáticos severos, como tempestades, sobrecarga em equipamentos e eventos causados por agentes externos como colisão de veículo. A partir disso, tendo em vista o atingimento das metas e o atendimento da demanda a um custo reduzido, faz-se necessário dimensionar as equipes de trabalho para a execução dos serviços, de forma a não ter excesso ou escassez de equipes por região.

O dimensionamento de equipes é um problema comum para a maioria das organizações, que envolve atribuição de funcionários a tarefas em turnos de trabalho, considerando períodos de descanso, regras legais, habilidades, necessidades de demanda, entre outros, sendo, portanto, um problema complexo para o gerenciamento de recursos humanos (ENZ, 2009). Intensificando a complexidade do problema, as concessionárias de energia ainda enfrentam a incerteza da demanda no mercado e precisam manter um nível de serviço aceitável, aliado a um tempo de espera curto, para poder competir com êxito no mercado (JIANG; SEIDMANN, 2014).

Diante disso, a literatura apresenta alguns modelos para dimensionamento de equipes. Steiner et al. (2006) propõe uma metodologia

para a otimização da logística de atendimento aos usuários de uma rede de distribuição de energia elétrica, buscando otimizar o número de equipes necessárias e seus consequentes custos para atender aos serviços comerciais e emergenciais, porém o estudo trata de forma determinística a demanda futura, ignorando possíveis variações. Outro modelo encontrado é descrito por Magro (2003) que desenvolve um método para quantificar e otimizar o número de equipes de eletricistas de modo a prever o número de ordens de serviço futuro, no entanto, o modelo proposto não considera o ingresso de ordens emergenciais. Dessa forma, o presente trabalho visa contribuir com a parcela da literatura que aborda o dimensionamento da mão de obra de forma a integrar a presença de ordens emergenciais e a variabilidade da demanda.

Nesse contexto, o trabalho tem como tema o dimensionamento da capacidade de mão de obra no setor de distribuição de energia elétrica e o problema central da pesquisa consiste na definição do número de equipes disponíveis em cada turno de trabalho nas bases operacionais de modo a atender a demanda por serviços comerciais e emergenciais com excelência. Pela incerteza na demanda, considera-se que as equipes de trabalho se dividem em equipe disponível e equipe em sobreaviso, que serão acionadas somente em caso de emergência. A partir desta definição, têm-se as seguintes questões: *“Como dimensionar o número de equipes disponíveis e em sobreaviso em cada turno de trabalho, considerando a variabilidade da demanda no dimensionamento das equipes?”*

Tendo em vista o problema a ser investigado, o trabalho tem como objetivo geral desenvolver um método para dimensionar o número de equipes de uma concessionária de energia elétrica. Com os objetivos específicos pretende-se elaborar um modelo de dimensionamento da capacidade de mão de obra e estabelecer uma sistemática para escolher a melhor alocação de equipes, frente a diferentes cenários possíveis, de modo a considerar as consequências da variabilidade da demanda.

O desenvolvimento do trabalho é apresentado a seguir, onde na seção 2 é feita uma revisão da literatura, dos conceitos importantes para a elaboração da pesquisa. Na seção 3 é mostrado o método utilizado enquanto na seção 4 é apresentado o contexto da pesquisa de forma a detalhar o dimensionamento da mão de obra no setor de energia elétrica e apresentar o modelo proposto

para esse dimensionamento. A última seção, 5, compreende os resultados obtidos a partir do desenvolvimento do modelo com os dados reais e a proposta de melhor alocação das equipes a partir dos cenários.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será apresentada a revisão bibliográfica relacionada ao tema da pesquisa, a qual é dividida em gerenciamento da capacidade, planejamento de mão de obra no setor de serviços, aplicações de dimensionamento de mão de obra no setor de serviços.

2.1 GERENCIAMENTO DA CAPACIDADE

O gerenciamento de capacidade e demanda é apresentado por Fitzsimmons e Fitzsimmons (2010) como a proposta de ações possíveis e efetivas para minimizar o impacto do desequilíbrio entre esses fatores. Uma das primeiras tarefas na compatibilização entre capacidade e demanda é o adequado planejamento da mão de obra, de modo acompanhar as variações de demanda ao longo do tempo. Tal desafio é particularmente importante na gestão de serviços.

Segundo Fitzsimmons e Fitzsimmons (2000), devido à intangibilidade dos serviços, sua capacidade é perecível com o tempo. Se o serviço não for utilizado, sua capacidade instalada é perdida definitivamente. Em relação à simultaneidade, como a produção e consumo ocorrem ao mesmo tempo, os serviços não podem ser estocados. Esses fatores tornam o planejamento de mão de obra no setor de serviços uma tarefa complexa.

2.2 PLANEJAMENTO DE MÃO DE OBRA NO SETOR DE SERVIÇOS

Planejamento de mão-de obra, segundo Ernst et al. (2004), é o processo de construir horários de trabalho para funcionários de maneira que uma organização possa satisfazer a demanda por seus bens ou serviços. Já Wren (1996) define como a alocação sujeita a restrições, de recursos e objetos colocados no espaço e no tempo, de modo a satisfazer, tanto quanto possível, um conjunto de objetivos desejáveis. No entanto, essa alocação se torna mais

complexa em razão das diferentes alternativas que as organizações têm no desenvolvimento de turnos de trabalho, visto que podem estabelecer planos de trabalho com diferentes horários de início, comprimentos de turnos, janelas de intervalo diárias e dias de trabalho distintos. Essa complexidade aumenta na medida em que não existem padrões e o número de alternativas cresce, como afirma Topaloglu e Ozkarahan (2004).

Para a construção dos modelos de planejamento é importante considerar uma sequência de atividades a serem realizadas. Para Jacobs e Bechtold (1993) as pesquisas nesta área tem se concentrado em três principais atividades, sendo elas previsão de demanda, determinação do nível de serviços e da quantidade de trabalho requerido e *Work-scheduling* (alocação da mão de obra), sendo que:

- a) previsão de demanda: fornece as informações que serão utilizadas no escalonamento da capacidade apropriada para ajustar-se à demanda variável. Seu propósito é expressar as variações da demanda entre períodos do dia e entre dias da semana;
- b) nível de serviço e a determinação da quantidade de trabalho requerida: envolvem a conversão da previsão da demanda de consumidores em trabalho necessário para cada período previsto. Esse processo é efetuado no contexto de um nível de serviço prescrito;
- c) *work-scheduling* é um problema matemático que envolve a especificação exata da escala de trabalho dos funcionários. Thompson (2003) especifica também a etapa da montagem das escalas de trabalho, entretanto ressalta que se deve levar em consideração as habilidades, desejos e necessidades dos funcionários.

Para problemas de *work-scheduling*, a literatura apresenta diferentes classificações, podendo citar o estudo de Baker (1976) também utilizado por Pawar e Hanchate (2013) que distinguem três grupos para problemas de programação de horário:

- a) *shift scheduling*: Simples e de fácil implementação, este problema, abordado por Baker (1976), surge quando a demanda não flutua em intervalos pequenos de tempo e não envolve sobreposição de turnos. A alocação de recursos deve suprir a demanda para cada turno de

trabalho, caracterizando a variação do tamanho da força de trabalho ao longo do dia;

b) *day-off scheduling*: Aborda problemas onde os empregados trabalham apenas cinco dias na semana enquanto a empresa opera os setes dias da semana. Baker (1976) ainda complementa que cada empregado tem direito a dois dias consecutivos de folga;

c) *tour Scheduling*: As organizações lidam com a otimização de turnos de trabalho visto que operam sete dias na semana, com mais de um turno por dia, iniciando e terminando em diferentes horários, e tendo diferentes tempos de duração. É importante neste caso respeitar as folgas diárias e semanais as quais o funcionário tem direito.

Outra classificação é proposta por Ernst et al. (2004), que classifica de forma mais geral o escalonamento de equipes, decompondo em 6 módulos: (1) *Demand modelling* (modelagem da demanda), (2) *Days off* (dias de folga), (3) *Shift scheduling* (programação dos turnos), (4) *Line of work construction* (construção da linha de trabalho), (5) *Task assignment* (atribuição de tarefas), (6) *Staff assignment* (atribuição de pessoal). Para a resolução dos diferentes módulos, Ernst et al. (2004) revisa métodos e técnicas de escalonamento, classificando as diferentes abordagens em cinco grupos: (1) modelagem da demanda, (2) abordagens de inteligência artificial, (3) programação de restrições, (4) metaheurísticas e (5) abordagens de programação matemática.

Outras técnicas são citadas por Alfares (2004) que propõe dez categorias: (1) Solução manual, (2) Programação inteira, (3) Modelagem implícita, (4) Decomposição, (5) Programação por metas, (6) *Working set generation*, (7) *LP-based solution*, (8) Construção/melhora, (9) Metaheurísticas e (10) outros métodos.

2.3 APLICAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO DE MÃO DE OBRA NO SETOR DE SERVIÇOS

Os modelos de dimensionamento de mão de obra na literatura, basicamente, tentam minimizar o número necessário de força de trabalho total, assegurando que a demanda em cada período de planejamento seja satisfeita. Existem alguns trabalhos de revisão que se concentram em problemas gerais

de planejamento da força de trabalho como Alfares (2004), Burke et al. (2004b), Ernst et al. (2004), Kohl, Karisch (2004), Van den Bergh et al. (2013).

Na revisão de Van den Bergh et al. (2013), as aplicações do dimensionamento de mão de obra se concentram principalmente nos setores de transporte, saúde e *call centers*. Dietz (2011) por exemplo, desenvolve um modelo para *call centers* baseado em planilhas de forma a determinar a melhor alocação dos agentes nos turnos de trabalho. Utiliza o modelo de fila Markoviano para determinar o número de agentes para uma sequência de intervalos de tempo com diferentes volumes de chamadas, tempos de manuseio e disponibilidade de agentes. A solução ótima se dá por um algoritmo de arredondamento e os resultados obtidos mostram a efetividade do modelo, que resultou em reduções de custos e quase a eliminação de falhas de nível de serviço. No estudo de Elizondo et al. (2010), o dimensionamento de mão de obra é aplicado no setor de transportes, mas especificamente no gerenciamento operacional de metrô. O problema de escalonamento de pessoal nesta aplicação foi equacionado e resolvido utilizando heurística em situações reais, tendo como desafios a combinação de horários de trens e tripulação com a programação de pessoal.

Campbell (2011) e Easton (2011) propuseram modelos integrados de agendamento e alocação para trabalhadores com variabilidade de demanda. Campbell (2011) desenvolveu um programa estocástico em dois estágios. O primeiro, determinista, atribui funcionários aos horários com base nas previsões da demanda. Na segunda etapa, simula cenários reais de demanda e realoca equipes de forma a minimizar as penalidades de escassez quadrática. Já Easton (2011) também propôs um modelo de cobertura estocástica de duas etapas que baseou as decisões iniciais de pessoal, treinamento, agendamento e alocação sobre as expectativas de demanda de serviços e atendimento aos funcionários, seguidas de decisões de realocação, uma vez que a demanda real e os níveis de atendimento foram revelados através da simulação. No entanto, nenhum desses modelos explora as informações de gradiente do estágio dois para melhorar as soluções de planejamento da força inicial do estágio um.

Aplicações de dimensionamento de mão de obra no setor elétrico, setor o qual este estudo está inserido, não são tão comuns na literatura

existente. Steiner et al. (2006) desenvolveu uma metodologia de otimização do dimensionamento de equipes de atendimento e despacho das mesmas para execução de ordens emergenciais e comerciais através de um modelo de programação inteira e o algoritmo Floyd. Já Xu et al. (2007) propõe uma solução para o problema de programação de equipes através do procedimento de algoritmos genéticos, bem como Perrier et al. (2013), que analisa apenas ordens emergenciais e utiliza um modelo de simulação de eventos discretos para avaliar o dimensionamento de equipes proposto pelo algoritmo. Por fim, Safaei, Benjovic e Andrew (2012) propõe uma simulação integrada para o planejamento de equipes a fim de determinar a combinação ideal de equipes disponíveis e em sobreaviso de forma a executar as ações de restauração de energia após interrupções. A frequência dessas interrupções é analisada por cenários e os modelos matemáticos para alocação de equipes são resolvidos usando o algoritmo *Branch & Bound*.

3 MÉTODO

Nesta seção serão descritos os procedimentos metodológicos que foram desenvolvidos nessa pesquisa.

3.1 CENÁRIO

O estudo foi realizado em uma concessionária do serviço público de energia elétrica que atua na distribuição de energia para 118 municípios do estado do Rio Grande do Sul. Para atender sua área de cobertura, que totaliza quatro milhões de clientes, a empresa conta com 64 subestações, sendo duas móveis, 2355 colaboradores próprios e 959 colaboradores terceirizados.

Para a aplicação do estudo, foram utilizados os dados de uma das sub-regiões de atendimento da empresa, que atende 9 municípios, uma população de aproximadamente 300 mil clientes em uma área de cobertura de 7660 km², onde atuam 34 equipes.

3.2 MÉTODO DE PESQUISA

O presente trabalho classifica-se quanto a natureza como aplicada e denota uma abordagem quantitativa. Pesquisas de natureza aplicada são elaborados com a finalidade de compreender e resolver problemas identificados no âmbito da sociedade (GIL, 2010).

Quanto aos procedimentos técnicos utilizados, os métodos seguem a proposta de modelagem e simulação, “empregada quando se deseja experimentar, através de um modelo, um sistema real, determinando-se como esse sistema responderá a modificações propostas” (TURRIONI; MELLO, 2012). A metodologia adotada é caracterizada como estudo de caso, pois trata-se de um trabalho de cunho empírico que visa investigar um fenômeno que esteja inserido dentro de um cenário real, através da análise de um ou mais objetos de análise (MIGUEL et al., 2012).

3.3 ETAPAS DE PESQUISA

O estudo foi elaborado a partir de três etapas. Inicialmente desenvolveu-se o modelo de dimensionamento da capacidade. Para essa primeira etapa, foi feita uma revisão da literatura para identificar formas de modelar o dimensionamento da capacidade buscando os fatores a serem considerados e as variáveis utilizadas nos modelos, bem como os tipos de restrição. Posterior a revisão, o problema de dimensionamento da capacidade foi descrito a partir do levantamento de dados junto a empresa de distribuição de energia, como os turnos de trabalho que ela opera, os custos associados as equipes e os dados históricos da demanda. Por fim, construiu-se o modelo de programação inteira para dimensionamento da capacidade, descrito na seção 4 e 4.1, que foi testado e validado.

A segunda etapa do estudo compreendeu o desenvolvimento de uma sistemática para avaliação do impacto da variabilidade da demanda, uma vez que o modelo desenvolvido na primeira etapa consiste em um modelo determinístico. Consequências dessa variabilidade da demanda e como ela foi considerada nos modelos já existentes foram levantadas através da revisão

bibliográfica e a sistemática utilizada consistiu na elaboração de 10 cenários com diferentes demandas, explicados na seção 4.2.

A terceira etapa é a aplicação dos modelos desenvolvidos na etapa um e dois com dados reais, tendo como objetivo avaliar o método proposto de dimensionamento do número de equipes da concessionária de energia elétrica. A aplicação consistiu no uso de dados do ano de 2016 para o dimensionamento das equipes, cujos resultados são apresentados na seção 5. A ferramenta computacional utilizada para aplicar o modelo foi o ZIMPL, desenvolvida por Koch (2004), que é uma linguagem utilizada para traduzir o modelo matemático em um formato que pode ser lido e resolvido por outro software que resolve modelos matemáticos baseados em programação linear inteira mista (solver). Para fazer essa resolução foi utilizado o solver SCIP (GAMRATH, 2016).

Para a simulação do modelo, foi determinada a limitação de uma hora para a resolução de cada cenário, visto ser o tempo máximo disponível para encontrar a solução ótima. Os resultados foram gerados em um computador com CPU Intel® Core™i7 -4510U 2,00GHz.

A avaliação das soluções encontradas pelo modelo abrangeu os custos relacionados a cada cenário, fazendo-se assim a análise econômica, e o uso de indicadores operacionais relacionados a sistemática de avaliação do impacto da variabilidade.

4 DIMENSIONAMENTO DE MÃO DE OBRA NO SETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Para uma empresa de distribuição de energia elétrica, o gerenciamento da velocidade de prestação dos serviços ao cliente é tido como um desafio constante. Estes serviços podem ser classificados em ordens comerciais, que envolvem serviços de atendimento comercial como a ligação ou corte de fornecimento de consumidores, e ordens emergenciais, que são ordens críticas causadas por eventos na rede elétrica como ventos e tempestades, ocasionando danos.

Para o atendimento dos serviços, a empresa utiliza de equipes multifuncionais, capazes de atender tanto ordens comerciais como

emergenciais. Antes do início de cada turno de trabalho, a empresa realiza um planejamento das ordens comerciais no *backlog* a serem executadas pelas equipes no dia e, caso haja o ingresso de emergência, as rotas planejadas são alteradas para que as equipes atendam as ordens emergenciais o mais rápido possível. Essa variabilidade, tanto no ingresso, como na execução dos serviços torna o processo de atendimento da demanda extremamente complexo e envolve elevado custo de recursos necessários, pois as ordens são reguladas com prazo de vencimento e multa definidos pela ANEEL. Destaca-se que as ordens de emergência impactam os indicadores monitorados pela ANEEL predominantemente através do tempo até a resolução dessas ordens. Por outro lado, o superdimensionamento da capacidade é inviável à empresa, demandando assim, um dimensionamento do número de equipes e do horário de trabalho delas para melhor atender a demanda.

Os turnos de trabalhos praticados pela concessionária são formados por equipes disponíveis, que estão efetivamente em serviço e equipes em sobreaviso, as quais são acionadas apenas quando há emergência. As equipes disponíveis e em sobreaviso são formadas por duplas de eletricistas e podem iniciar seu turno a qualquer hora do dia, sendo que para as equipes em sobreaviso há maior flexibilidade para a determinação dos limites dos turnos. Para as equipes disponíveis há duas escalas de trabalho diferentes. Na primeira escala, denominada “A”, a equipe trabalha os sete dias da semana no mesmo horário. Para isso, são necessários três eletricistas, de modo que quando um está em folga, os demais estão trabalhando. Nessa escala os eletricistas possuem um ciclo de trabalho de seis dias, onde trabalham 8,8 horas por dia, com uma hora de intervalo, trabalhando quatro dias e folgando dois dias seguido. Dessa forma, é possível obter uma escala onde a equipe trabalha todos os dias da semana no mesmo horário, pois os eletricistas alternam suas folgas. Já a segunda escala, denominada “B”, possui um ciclo de sete dias, onde as equipes trabalham 8,8 horas por dia, com uma hora de intervalo, durante cinco dias na semana. Os dois dias de folga nessa escala podem ser sexta e sábado, sábado e domingo, ou domingo e segunda. Dessa forma, as equipes iniciam sua jornada de trabalho no domingo, na segunda ou na terça, denominadas “Bdom”, “Bseg” e “Bter” respectivamente.

4.1 MODELO DE DIMENSIONAMENTO DA MÃO DE OBRA

Baseado nas informações de como opera a concessionária de energia elétrica, o modelo de dimensionamento da mão de obra é estruturado de forma a representar as exigências de um sistema real. No entanto, o modelo é escrito de forma simplificada e possui alguns limitantes. O número de equipes sobreaviso é restringindo a 1 equipe por hora, enquanto a hora-extra é limitada a 1 hora-extra por equipe, após o turno de trabalho.

Tabela 1 - Parâmetros do modelo

Parâmetros	Descrição
DE_{DH}	Demanda, em horas de trabalho, de ordens emergenciais no dia D na hora H
DC	Demanda, em horas de trabalho, de ordens comerciais, na semana
CA	Custo da equipe A
CB	Custo da equipe B
CHE	Custo da hora extra
CSA	Custo do sobreaviso por hora
TA_{jDH}	Matriz das equipes da escala A, que iniciam na hora j, que trabalham no dia D na hora H
$TBdom_{jDH}$	Matriz das equipes da escala B, que iniciam domingo, na hora j, que trabalham no dia D na hora H
$TBseg_{jDH}$	Matriz das equipes da escala B, que iniciam segunda, na hora j, que trabalham no dia D na hora H
$TBter_{jDH}$	Matriz das equipes da escala B, que iniciam terça, na hora j, que trabalham no dia D na hora H
HA_{jDH}	Matriz das equipes da escala A, que iniciam na hora j, que podem fazer hora extra no dia D na hora H
$HBdom_{jDH}$	Matriz das equipes da escala B, que iniciam domingo, na hora j, que podem fazer hora extra no dia D na hora H
$HBseg_{jDH}$	Matriz das equipes da escala B, que iniciam segunda, na hora j, que podem fazer hora extra no dia D na hora H
$HBter_{jDH}$	Matriz das equipes da escala B, que iniciam terça, na hora j, que podem fazer hora extra no dia D na hora H

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tabela 2 - Variáveis do modelo

Variáveis	Descrição
A_j	Quantidade de equipes da escala A que iniciam na hora j
$Bdom_j$	Quantidade de equipes da escala B,que iniciam Domingo,na hora j
$BSeg_j$	Quantidade de equipes da escala B,que iniciam Segunda,na hora j
$BTer_j$	Quantidade de equipes da escala B,que iniciam Terça,na hora j
$Qextra_{DH}$	Quantidade de hora extra no dia D na hora H
SA_{DH}	Indica a existência de uma equipe em sobreaviso no dia i na hora j

Fonte: Desenvolvido pelo autor

A função objetivo do modelo, apresentada na equação (1), tem por finalidade a minimização de custos associados a quantidade de equipes necessárias para atender a demanda. Os custos variam conforme a escala da equipe, a realização de hora extra, e a necessidade de equipe em sobreaviso. As restrições apresentadas nas equações (2), (3), (4), (5), (6), e (7) representam as especificidades do modelo, que limitam a combinação de variáveis de soluções possíveis. Na equação (2) tem-se a restrição que avalia o atendimento das ordens emergenciais, onde a quantidade de hora extra é dada caso o somatório das equipes disponíveis e a existência de equipe sobreaviso seja menor que o necessário para atender a demanda emergencial. Na equação (3) o número de hora-extra é limitado em função do número de equipes que encerram o turno na hora anterior, garantindo assim que a quantidade de horas extras não supere a quantidade de equipes que podem realizá-las em um dado horário. A equação (4) refere-se ao atendimento das ordens comerciais, sendo o horário comercial das 8h às 20h, de segunda à sexta. Vale ressaltar que durante esse horário, é possível o ingresso de ordens emergenciais, sendo assim considerada sua demanda e a possibilidade de utilização de hora extra e equipes sobreaviso. A equação (5) garante que, independente da demanda, exista pelo menos uma equipe ativa ou sobreaviso em qualquer hora do dia. As equações (6), (7) garantem que as variáveis do modelo sejam inteiras e positivas e a equação (8) limita que seja no máximo uma equipe em sobreaviso por hora.

Função objetivo para minimizar custos

$$\begin{aligned} \text{MIN } & \sum_j (CA \cdot A_j + CB \cdot (Bdom_j + Bseg_j + Bter_j)) + CE \sum_D \sum_H Qextra_{DH} + \\ & CSA \cdot \sum_D \sum_H SA_{DH} \end{aligned} \quad (1)$$

Sujeito a:

Restrição que garante o atendimento das ordens emergenciais

$$\begin{aligned} Qextra_{DH} \geq & DE_{DH} - \sum_j (TA_{jDH}A_j + TB_{domjDH}B_{domj} + TB_{segjDH}B_{segj} + \\ & TB_{terjDH}B_{terj}) - SA_{DH}, \text{ sendo } D = 1, \dots, 7 \text{ e } H = 0, \dots, 23 \end{aligned} \quad (2)$$

Restrição para limitação das horas-extras

$$\begin{aligned} Qextra_{DH} \leq & \sum_j (HA_{jDH}A_j + HB_{domjDH}B_{domj} + HB_{segjDH}B_{segj} + \\ & HB_{terjDH}B_{terj}), \text{ sendo } D = 1, \dots, 7 \text{ e } H = 0, \dots, 23 \end{aligned} \quad (3)$$

Restrição que garante o atendimento das ordens comerciais

$$\begin{aligned} \sum_{D=2}^6 \sum_{H=8}^{20} [\sum_j (TA_{jDH}A_j + TB_{domjDH}B_{domj} + TB_{segjDH}B_{segj} + \\ TB_{terjDH}B_{terj}) + SA_{DH} + Qextra_{DH}] \geq \sum_{D=2}^6 \sum_{H=8}^{20} DE_{DH} + DC \end{aligned} \quad (4)$$

Restrição que garante a existência de pelo menos 1 equipe ativa ou sobreaviso

$$\begin{aligned} \sum_j (TA_{jDH}A_j + TB_{domjDH}B_{domj} + TB_{segjDH}B_{segj} + TB_{terjDH}B_{terj}) \\ + SA_{DH} \geq 1 \end{aligned} \quad (5)$$

$A_j, B_{domj}, B_{segj}, B_{terj}$ são inteiras

$Qextra_{DH} \geq 0$

SA_{DH} é binária

4.2 SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE

Como solução para avaliar o impacto da variabilidade, foram elaborados 10 cenários, onde dividiu-se as demandas em comercial e emergencial. A demanda comercial foi dada pelo total de horas comerciais que ingressaram por semana, enquanto para demanda emergencial, utilizou-se um conjunto com valores para as 24 horas do dia, nos 7 dias da semana. A partir desses dados

foram elaborados cenários que representam diferentes situações enfrentadas pela companhia, determinados pelo percentil da demanda utilizado como parâmetro de entrada no modelo de dimensionamento. Utilizou-se o percentil, de 10%, 20%, 30% até 100% para elaborar estes cenários, representando situações de baixa demanda até situações de alta demanda. Por exemplo, o percentil 100% representa o nível máximo de ocorrência de serviço na empresa, enquanto o percentil 10% representa um baixo nível de demanda durante todos os dias da semana.

Realizado o levantamento dos dados com os diferentes percentis, o modelo foi rodado e os resultados gerados foram avaliados da seguinte forma: inicialmente construiu-se o gráfico dos custos associados as equipes, encontrados nos 10 cenários, de forma que possibilitou a verificação do aumento de custos de um cenário para outro, gerando assim, uma análise econômica. Além dos custos, foi analisado o operacional de cada cenário. Essa análise se deu através da mensuração de três indicadores: Demanda comercial não atendida, em horas, Atraso no atendimento das emergências, em horas e a Ocioseidade diária geral, em horas.

Para o cálculo da demanda comercial não atendida foi feita a subtração da demanda comercial total em horas com as horas disponíveis das equipes para realização das ordens no horário comercial. As horas disponíveis foram obtidas após a subtração das horas necessárias para atender as emergências. Tanto a demanda comercial quanto a demanda emergencial dos dias foram gerados aleatoriamente segundo o histórico, pois não foi possível incluir uma previsão de demanda para os próximos anos. Embora o modelo faça o dimensionamento considerando o mesmo percentil da demanda para todos os dias, na simulação foi incluída a variabilidade que ocorre entre os dias. Essa aleatoriedade diária faz com que os dados se aproximem da realidade, uma vez que no cenário 90% fica entendido que em todos os dias da semana ocorrerá um volume correspondente a 90% das ordens registradas no histórico, quando na realidade isso não acontece frequentemente, visto que a demanda muda conforme os dias.

O segundo indicador, o atraso no atendimento das emergências, considera que emergências são priorizadas em relação a demanda comercial, assim é descontado da demanda emergencial, o número de equipes

disponíveis para atender a ordem. Quando a carga de emergência não é concluída, ela é transferida para o horário seguinte até que haja equipe com disponibilidade para execução. O terceiro indicador, referente a ociosidade diária, é dado pela soma da ociosidade das equipes em cada uma das horas do dia. Esse valor foi obtido pelo excedente das horas disponíveis pelas equipes para atender ordens emergenciais e comerciais com relação a demanda nesse horário específico, do contrário, esse valor é zero.

O valor final desses indicadores, utilizado nas análises, foi obtido pela média resultante da simulação de 6500 semanas para cada cenário. Através dessas médias, construiu-se um gráfico para cada indicador, possibilitando a análise operacional dos cenários e a escolha da melhor opção.

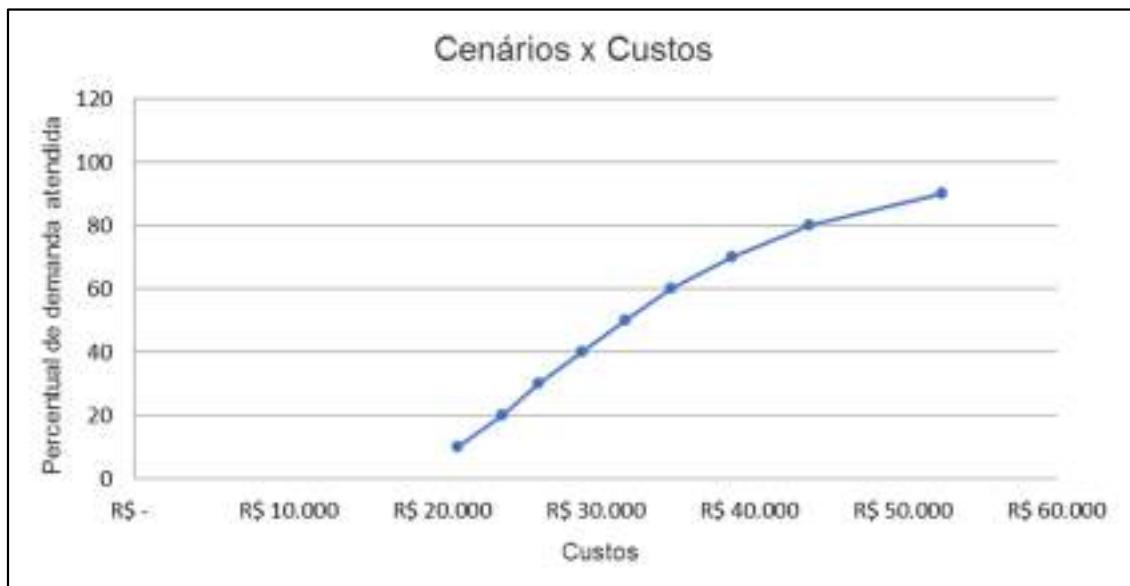
5 RESULTADOS

Realizada a resolução do modelo de dimensionamento de equipes para os diferentes cenários, obteve-se a quantidade de equipes necessárias para cada dia da semana, sendo elas do tipo *A*, *Bdom*, *Bseg* e *Bter*, minimizando o custo associado. Também se obteve a quantidade de horas extras e a necessidade ou não de equipes sobreaviso.

5.1 ANÁLISE ECONÔMICA

Para a análise do impacto da variabilidade, elaborou-se um gráfico com os custos relativos a cada cenário de modo a visualizar o comportamento dos dados. Os custos utilizados na elaboração são referentes ao cenário 10% até o cenário 90%. O cenário 100% não foi utilizado na análise uma vez que a ocorrência do nível máximo de serviços registrados em 2016, todos os dias da semana, gera um custo altíssimo e a probabilidade de ocorrência dessa situação é quase nula. Porém, para fins de confirmação, o cenário foi simulado, gerando um custo de R\$ 163.658,00 por semana, sendo 212% maior que o custo do cenário 90%, o que o torna economicamente inviável. Os demais custos são apresentados na Figura 1, a seguir.

Figura 1 - Gráfico Cenários X Custos



Fonte: Desenvolvido pelo autor

A partir do gráfico, observa-se que os custos aumentam conforme o crescimento da demanda a ser atendida, uma vez que há a necessidade de um maior número de equipes e consequentemente maior o custo. Observa-se também que esse crescimento não apresenta comportamento linear. A partir do cenário 70, a distância dos pontos aumenta, sendo necessária uma análise aprofundada para verificar se esse percentual significativo de aumento é justificável operacionalmente ou não. Para melhorar visualizar a diferença de aumento entre os cenários, a Tabela 3 mostra a diferença dos custos entre cenários.

Tabela 3 - Análise dos custos por cenário

Cenário	Custo	Diferença entre cenários
10	R\$ 21.057	
20	R\$ 23.966*	R\$ 2.909
30	R\$ 26.276*	R\$ 2.310
40	R\$ 29.125*	R\$ 2.849
50	R\$ 31.916*	R\$ 2.791
60	R\$ 34.955*	R\$ 3.039
70	R\$ 38.882	R\$ 3.927
80	R\$ 43.819*	R\$ 5.013
90	R\$ 51.927*	R\$ 8.612

* Indica que o limite de tempo de uma hora foi atingido

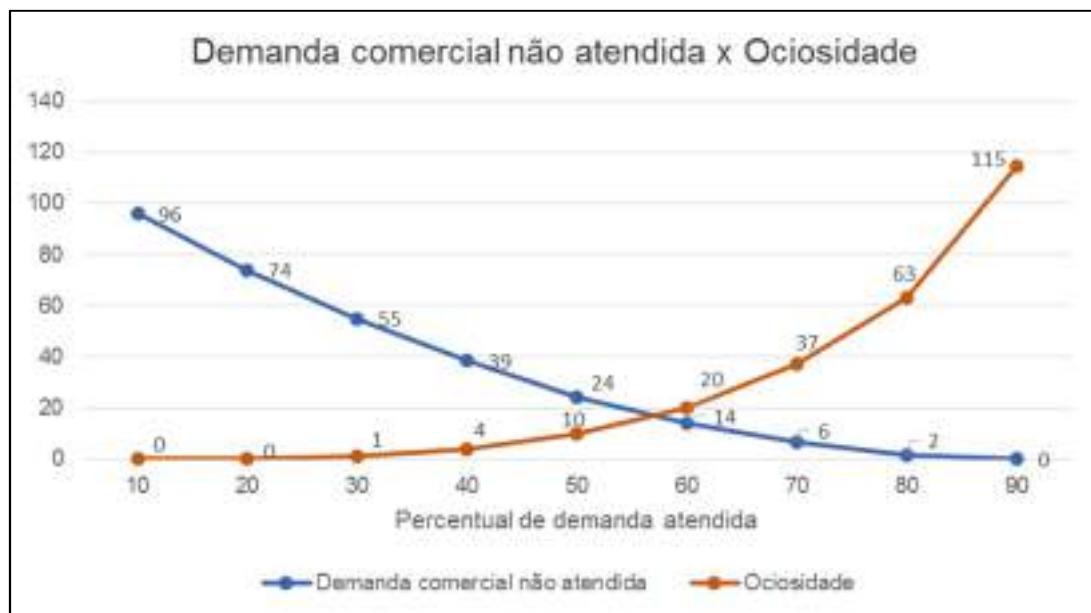
Fonte: Desenvolvido pelo autor

Como verificado na Figura 1, a Tabela 3 confirma que até o cenário 60, o crescimento é aproximadamente linear, ficando em torno de R\$ 3.000 reais a diferença entre cenários, enquanto a partir do 70, esse crescimento aumenta, passando para R\$ 3.927, R\$ 5.013 e R\$ 8.612. Nessa perspectiva, os cenários 10, 20, 30, 40 e 50 são desconsiderados e o cenário 60 é tido como a melhor opção de escolha, uma vez que o benefício resultante de um maior investimento cresce de forma linear até esse ponto. No entanto, é preciso analisar o comportamento operacional desses cenários e avaliar se o aumento dos cenários 70, 80 e 90, mesmo com aumento não linear, é justificado operacionalmente. A tendência é que o aumento de R\$ 8.612, do cenário 90, não justifique os ganhos operacionais.

5.2 ANÁLISE OPERACIONAL

Calculados os indicadores operacionais relacionados a sistemática de avaliação do impacto da variabilidade, construiu-se dois gráficos para a análise. O Gráfico 2 apresenta a relação da demanda comercial não atendida, em horas, no dia e a ociosidade, em horas, no dia de cada percentual de atendimento da demanda.

Figura 2 - Gráfico da demanda comercial não atendida x ociosidade



Fonte: Desenvolvido pelo autor

A partir do gráfico, observa-se que o comportamento dos pontos não é linear e quando localizados antes do cruzamento das linhas representam fila infinita, ou seja, em média o número de horas de demanda comercial não atendida nas semanas de alta demanda supera as horas ociosas do sistema nas semanas de baixa demanda, sendo matematicamente impossível o sistema se recuperar e operar sem atrasos. Isso confirma que o número de equipes para os percentuais 10, 20, 30, 40 e 50 não são adequados para atender o sistema.

Os demais percentuais, localizados depois do cruzamento das linhas, mostram um sistema com possibilidade de recuperação e atendimento da demanda. Isso é possível pelo fato de que ao se ter um sistema com alta variabilidade, dias onde a demanda é baixa podem suprir a carga de dias onde não foi possível realizar as ordens comerciais em razão da alta demanda. Já o cenário 90 aparenta um excesso de capacidade, com possibilidade de 115 horas de ociosidade sem nunca ocorrer falta de capacidade, mesmo nos picos de demanda. Entretanto, em um sistema com variabilidade, é natural que em algum momento haja sobra de demanda. Esses valores confirmam a expectativa da análise econômica, em que o aumento de R\$ 8.612 em relação ao cenário anterior, não é justificado operacionalmente visto que o cenário 80 apresenta possibilidade de apenas 2 horas de demanda não atendida com 63 horas ociosas. Nessa perspectiva, os potenciais cenários para escolha são os cenários 60, 70 e 80, que apresentam um sistema equilibrado.

Seguindo a análise operacional, foi elaborado o gráfico de atraso das emergências em horas, com todos os cenários, apresentado na Figura 3.

Para a análise das horas de atraso no cumprimento das ordens emergenciais, desconsiderou-se os cenários vistos como economicamente e operacionalmente inviáveis. Com isso, comparou-se as horas de atraso dos cenários 60, 70 e 80 com o tempo máximo de atendimento de uma ordem emergencial sem pagar multa, que é de 4 horas. Sendo assim, os cenários 60 e 70 ultrapassam esse limite, gerando custos para a empresa, e recomenda-se como melhor solução, o cenário 80. Ressalta-se que com um sistema que apresenta alta variabilidade, o cenário 70 também se mostra como solução possível, sendo de escolha da empresa assumir o risco do atraso de 1 hora.

Figura 3 - Gráfico do atraso das ordens emergenciais



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Os resultados totais de número de equipes ativas, horas-extras e equipes sobreaviso que o modelo gerou, são apresentados na Tabela 4. A partir deles, é possível se ter uma visão geral da quantidade de equipes que cada cenário demanda.

Tabela 4 - Número total de equipes nos cenários

Cenários	Total de equipes	Hora-extra	Sobreaviso
10	21	1	15
20	24	3	15
30	27	1	17
40	29	3	13
50	33	3	15
60	35	4	21
70	39	8	21
80	44	10	28
90	52	12	21
100	149	45	13

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Verifica-se que o número de equipes aumenta conforme a demanda aumenta, enquanto no cenário 100, é comprovado o superdimensionamento que torna o cenário inviável de ser aplicado. Os demais dados, servem como apoio para a tomada de decisão do dimensionamento mais adequado para a empresa, uma vez que atualmente a empresa conta com 34 equipes disponíveis.

Visto que a partir das análises econômica e operacional, o cenário 80 foi recomendado como melhor solução, a Tabela 5 a seguir, detalha o número total de equipes ativas necessárias para o atendimento da demanda nas diferentes horas do dia. O detalhamento dos diferentes tipos de equipes, *A*, *Bdom*, *Bter* e *Bseg*, nos turnos de trabalho, é apresentado no Apêndice A, Apêndice B, Apêndice C e Apêndice D.

Tabela 5 - Total de equipes ativas do cenário 80

Horas	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
0	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	2	1	1	1
2	1	1	1	4	1	1	1
3	1	1	1	3	1	1	1
4	1	1	1	3	1	1	1
5	2	2	2	3	2	1	1
6	2	2	3	3	3	1	1
7	3	5	6	6	6	4	2
8	5	17	21	21	21	17	5
9	5	18	24	24	24	20	7
10	5	19	24	24	24	20	6
11	5	22	28	28	28	24	7
12	5	17	22	22	22	18	6
13	7	29	36	36	36	30	8
14	7	29	38	38	38	31	9
15	7	25	33	33	33	26	8
16	6	24	30	30	30	25	7
17	6	16	20	20	20	16	6
18	6	16	19	19	19	15	5
19	5	14	17	17	17	14	5
20	5	9	12	12	12	8	4
21	3	4	5	5	5	3	2
22	3	3	3	3	3	2	2
23	3	3	3	3	3	2	2

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Observa-se que a maior concentração de equipes está na faixa de horário das 8h às 20h, de segunda a sexta, sendo esta a faixa que abrange o atendimento de ordens emergenciais e comerciais, justificando assim o maior número de equipes.

Além das equipes ativas, os resultados também indicaram a necessidade de 28 equipes em sobreaviso distribuídas em todos os dias da semana. Essas equipes em sobreaviso são planejadas como precaução para possíveis ingressos de ordens emergenciais, assim, horários mais suscetíveis a ocorrência de emergências, possuem além de equipes ativas, equipes que aguardam uma demanda não prevista. O modelo também indicou a necessidade de um total de 10 horas-extras por semana.

Concluída a análise econômica e operacional dos resultados apresentados pelo modelo de dimensionamento de equipes, têm-se a proposição de um melhor cenário a partir das limitações do modelo. Destaca-se que devido as dificuldades em incorporar a variabilidade da demanda, os resultados encontrados são aproximações que não retratam com precisão a realidade, como por exemplo o dimensionamento feito em semanas, onde os cálculos são feitos com base que todas as semanas possuem a mesma demanda. Além disso, o modelo foi escrito de forma simplificada, restringindo a hora-extra e limitando uma equipe de sobreaviso por hora, mesmo que na realidade essas limitações sejam flexíveis.

Contudo, o modelo consegue atender aos objetivos propostos de forma a apresentar soluções que podem servir como referência para o planejamento de equipes na concessionária. Ele permite que a empresa faça a comparação dos resultados com a realidade, e melhore seu dimensionamento uma vez que o modelo é fiel a realidade de início de turno, tipos de equipe e tipos de ordens de serviço. Além da importância prática, o estudo também tem relevância teórica, contribuindo com a pouca literatura existente sobre dimensionamento de equipes no setor de serviços. Como revisado anteriormente, os modelos encontrados na literatura ou são determinístico, como o de Steiner et al. (2006) ou não consideram o ingresso de ordens emergenciais como de Magro (2003) e dessa forma, o estudo realizado, que desenvolve ambos os fatores, considerando a variabilidade e ordens comerciais e emergenciais, tem relevante contribuição na literatura existente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema central deste trabalho é o dimensionamento da capacidade de mão de obra no setor de distribuição de energia elétrica, assumindo como problema de pesquisa, a definição do número de equipes disponíveis em cada turno de trabalho nas bases operacionais de modo a atender a demanda por serviços comerciais e emergenciais com excelência. Para tanto, foram estudados os conceitos de gerenciamento da capacidade, planejamento de mão de obra no setor de serviços e aplicações de *work-scheduling* no setor de serviços, com objetivo de desenvolver um método para dimensionar o número de equipes de uma concessionária de energia elétrica.

Como resultados, obteve-se um modelo de dimensionamento de mão de obra que considera as exigências de um sistema real e a variabilidade da demanda. Com turnos iniciando a qualquer hora do dia, equipes multifuncionais do tipo *A*, *Bdom*, *Bseg* e *Bter*, ou sobreaviso, e possibilidade de realização de hora-extra, o modelo minimizou os custos relacionados a quantidade de equipes necessárias para atender a demanda em 10 cenários possíveis, que através dos percentis 10% até 100% representam os diferentes níveis de ocorrência de serviço na empresa.

Realizada a análise econômica e operacional dos resultados obtidos com o modelo, pode-se inferir que os cenários 10%, 20%, 30%, 40% e 50% não conseguiram atender a demanda de ordens comerciais e emergenciais, fazendo com que o sistema operasse com atrasos. Já os cenários 60% e 70% apesar de conseguirem atender a demanda comercial, representam riscos para o atendimento da demanda emergencial, podendo acarretar em custos para a empresa, que pagaria multa pelo atraso desse atendimento. Os cenários 90% e 100% apresentam custos elevados de forma que não são justificáveis operacionalmente e, portanto, tem-se o cenário 80 como o de melhor desempenho.

Sendo assim, os resultados obtidos com o modelo se mostram de fundamental importância para um planejamento adequado da empresa, uma vez que há o controle no prazo de atendimento das solicitações dos consumidores, sujeito a multa, bem como as exigências dos consumidores por

serviços de qualidade. Ademais, como delimitação deste trabalho e recomendação para os próximos, sugere-se o desenvolvimento de um modelo mais detalhado, a fim de contemplar todas as variáveis do sistema real, bem como a utilização de dados da demanda a partir de projeções de períodos futuros, a fim de que o modelo possa de fato ser utilizado para o planejamento da empresa.

REFERÊNCIAS

- ALFARES, H.K. Survey, categorization, and comparison of recent tours scheduling literature. **Annals of Operations Research**, v.127, n.1-4, p.145–175, mar. 2004. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/B:ANOR.0000019088.98647.e2>>. Acesso em: 5 jun. 2017.
- BAKER, K. Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problems: A Survey. **Operations Research Quarterly**, v.27, n.1, p.155–167, apr. 1976. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1057/jors.1976.30>>. Acesso em: 5 jun. 2017.
- BATISTA, O. E. et al. A Brazilian Experience in Energy Management: Low-cost Actions as Strategy to Reduce Electricity Costs. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 46, n. 24, p 40-47, sept. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016321632>>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética .MME : EPE, Brasília : v.12 . : il. 2007
- BURKE, E. K. et al. (2004b). The state of the art of nurse rostering. **Journal of Scheduling**, v.7, n. 6, p. 441–499, nov. 2004. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/B:JOSH.0000046076.75950.0b>> . Acesso em: 9 jun. 2017.
- CAMPBELL, G.M. A two-stage stochastic program for scheduling and allocating cross-trained workers, **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n.6, p. 1038–1047, june 2011. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1057/jors.2010.16>>. Acesso em:13 jun. 2017.
- DIETZ, D.C. Practical scheduling for call center operations, **Omega**, v.39, n.5, p. 550–557, oct 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048310001556>>. Acesso em: 13 jun. 2017.
- EASTON, F.F. Cross-training performance in flexible labor scheduling environments. **IIE Transactions** v. 43, n.8, p. 589–603, may 2011. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0740817X.2010.550906>> . Acesso em: 9 jun. 2017.
- ELIZONDO, R. et al. An evolutionary and constructive approach to a crew scheduling problem in underground passenger transport, **Journal of Heuristics** v.16, n.4, p. 575–591, Aug. 2010. Disponível em: <

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10732-009-9102-x>. Acesso em: 9 jun. 2017.

ENZ, C. A. Human Resource Management: A Troubling Issue for the Global Hotel Industry. **Cornell Hospitality Quarterly**, v. 50, n. 4, nov. 2009. Disponível em: <<http://scholarship.sha.cornell.edu/articles/202/>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

ERNST, A. T. et al. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models, **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 1, p. 3- 27, feb. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722170300095X>>. Acesso em: 9 jun. 2017.

FITZSIMMONS, J. A; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia de informação**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de Serviços: operações, estratégia e tecnologia de informação**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman 2010.

GAMRATH, G.; et al. ZIB-Report 15-60, Zuse Institute Berlin, Feb. 2016

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

HUR, D.; MABERT, V. A.; BRETTHAUER, K. M. Real-time Schedule Decisions: a Case Study. **The International Journal of Management Science**, v.32, n.5, p 333-344, oct. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048304000052>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

JACOBS, L.; S. BECHTOLD. Labor Utilization Effects of Labor Scheduling Flexibility Alternatives in a Tour Scheduling Environment. **Decision Sciences**, v. 24, n.1, p. 148–166, jan. 1993. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1540-5915.1993.tb00467.x/full>>. Acesso em: 9 jun. 2017.

JIANG, Y.; SEIDMANN, A. Capacity planning and performance contracting for service facilities. **Decision Support Systems**, v. 58, p.31-42, feb. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923613000201>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

KOCH, T. Rapid Mathematical Programming. **PhD thesis**, Technische Universität Berlin, 2004. Disponível em: <<http://www.zib.de/Publications/abstracts/ZR-04-58/>>

KOHL, N.; KARISCH, S. Airline Crew Rostering: Problem Types, Modeling, and Optimization. **Annals of Operations Research**, v.127, n.1-4, p 223–257, mar.

2004. Disponível em:
 <<https://link.springer.com/article/10.1023/B%3AANOR.0000019091.54417.ca>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

MAGRO, M.A.B. Dimensionamento de equipes baseado em modelos de previsão, simulação e alocação: caso de uma empresa do setor elétrico. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

MIGUEL, P. A. C. et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

PAWAR, U. S.; HANCHATE, D. B., Literature Review on Personnel Scheduling, **International Journal of Computer Engineering & Technology**, v. 4, n. 5, p. 312 – 324, oct. 2013. Disponível em:
 <<http://www.iaeme.com/MasterAdmin/UploadFolder/50120130405036%5C50120130405036.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

PERRIER, N. et al. A survey of models and algorithms for emergency response logistics in electric distribution systems. Part I: Reliability planning with fault considerations, **Computers & Operations Research**, v. 40, n.7, p. 1895-1906, july 2013. Disponível em:
 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054813000245?via%3Dihub>>. Acesso em: 14 jun. 2017.

SAFAEI, N.; BANJEVIC, A.; ANDREW K. S. J. Workforce Planning for Power Restoration: An Integrated Simulation-Optimization Approach. **IEEE Transactions on power systems**, v. 27, n. 1, p. 442-449, feb. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6026940/>>. Acesso em: 14 jun. 2017

STEINER, M.T.A. et al. Técnicas da pesquisa operacional aplicadas à logística de atendimento aos usuários de uma rede de distribuição de energia elétrica. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v.1, n.3, p. 229-243, dez.2006. Disponível em: <<http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/viewFile/sgv1n3a4/22>> . Acesso em: 14 jun. 2017.

TOPALOGLU, S. ; I. OZKARAHAN. An Implicit Goal Programming Model for the Tour Scheduling Problem Considering the Employee Work Preferences. **Annals of Operations Research**, v.128, n. 1-4, p. 135–158, apr. 2004. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/B:ANOR.0000019102.68222.d>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

THOMPSON, G. M. Labor Scheduling: A Commentary. **Cornell Hospitality Quarterly**, v. 44, n.5-6, p. 149-155, oct, 2003. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010880403901194>> .
Acesso em: 13 jun. 2017.

TURRIONI, J. B; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. Itajubá: Unifei, 2012.

VAN DEN BERGH J.; Personnel Scheduling: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 243, n. 1, p. 1-16, may 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221714008601>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

XU, N. et al. Optimizing scheduling of post-earthquake electric power restoration tasks. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, v.36, n.2, p. 265-284, feb. 2007. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eqe.623/abstract>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

WANG, D.; TANG, O.; HUO, J. A heuristic for rationing inventory in two demand classes with backlog costs and a service constraint. **Computers & Operations Research**, v. 40, n. 12, p.2826-2835, dec. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054813001585>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

WREN, A. Scheduling, Timetabling and Rostering – A Special Relationship? International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling, **Lecture Notes in Computer Science**, Vol. 1153, pp. 46-75, set. 1996. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/221559070_Scheduling_Timetabling_and_Rostering_-_A_Special_Relationship>. Acesso em: 13 jun. 2017

ZHU, J. Optimization of Power System Operation. **Wiley-IEEE Press**. 2009.

APÊNDICE A – TOTAL DE EQUIPES DO TIPO A

Horas	Domingo	Total de equipes do tipo A					
		Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
0	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	1	1	1	1	1	1	1
17	2	2	2	2	2	2	2
18	2	2	2	2	2	2	2
19	2	2	2	2	2	2	2
20	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1
22	2	2	2	2	2	2	2
23	2	2	2	2	2	2	2

APÊNDICE B – TOTAL DE EQUIPES DO TIPO BDOM

Horas	Domingo	Total de equipes do tipo Bdom					
		Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	0	0
6	2	2	2	2	2	0	0
7	2	2	2	2	2	0	0
8	4	4	4	4	4	0	0
9	4	4	4	4	4	0	0
10	4	4	4	4	4	0	0
11	5	5	5	5	5	0	0
12	5	5	5	5	5	0	0
13	7	7	7	7	7	0	0
14	7	7	7	7	7	0	0
15	7	7	7	7	7	0	0
16	5	5	5	5	5	0	0
17	4	4	4	4	4	0	0
18	4	4	4	4	4	0	0
19	3	3	3	3	3	0	0
20	4	4	4	4	4	0	0
21	2	2	2	2	2	0	0
22	1	1	1	1	1	0	0
23	1	1	1	1	1	0	0

APÊNDICE C – TOTAL DE EQUIPES DO TIPO BSEG

Horas	Domingo	Total de equipes do tipo Bseg					
		Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	3	0	0	0
3	0	0	0	2	0	0	0
4	0	0	0	2	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	2	2	2	2	2	0
8	0	12	12	12	12	12	0
9	0	13	13	13	13	13	0
10	0	14	14	14	14	14	0
11	0	17	17	17	17	17	0
12	0	12	12	12	12	12	0
13	0	22	22	22	22	22	0
14	0	22	22	22	22	22	0
15	0	18	18	18	18	18	0
16	0	18	18	18	18	18	0
17	0	10	10	10	10	10	0
18	0	10	10	10	10	10	0
19	0	9	9	9	9	9	0
20	0	4	4	4	4	4	0
21	0	1	1	1	1	1	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0

APÊNDICE D – TOTAL DE EQUIPES DO TIPO BTER

Horas	Domingo	Total de equipes do tipo Bter					
		Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	1	1	1	1
7	0	0	1	1	1	1	1
8	0	0	4	4	4	4	4
9	0	0	6	6	6	6	6
10	0	0	5	5	5	5	5
11	0	0	6	6	6	6	6
12	0	0	5	5	5	5	5
13	0	0	7	7	7	7	7
14	0	0	9	9	9	9	9
15	0	0	8	8	8	8	8
16	0	0	6	6	6	6	6
17	0	0	4	4	4	4	4
18	0	0	3	3	3	3	3
19	0	0	3	3	3	3	3
20	0	0	3	3	3	3	3
21	0	0	1	1	1	1	1
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0