

DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES DE REPARO DE EMERGÊNCIA DE UMA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA

Marcelle Candido Cordeiro

Lino Guimarães Marujo

Maria Clara Machado de Almeida Duque

¹Departamento de Engenharia de Produção (PEP)
Universidade Federal do Rio De Janeiro (UFRJ)

Eduardo Rabello

Fabício Nunes

LIGHT - Serviços de Eletricidade S. A.

DDP: Planejamento da Operação e Manutenção

RESUMO

O fornecimento contínuo de energia elétrica é uma das mais importantes expectativas dos consumidores. Por conta disso, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) determina indicadores de qualidade e continuidade do serviço prestado pelas distribuidoras elétricas. Quando as metas estabelecidas para esses indicadores são violadas, as distribuidoras são penalizadas com multas. O objetivo desse artigo é dimensionar a quantidade de equipes necessárias para reduzir o tempo de reestabelecimento da energia elétrica na Região Oeste do Rio de Janeiro. Para tal, o número de equipes deve atender a condição de estabilidade de filas e o tempo de espera até que os chamados sejam concluídos deve ser condizente com a regulamentação da ANEEL. Em toda Região Oeste, verificou-se que a taxa de ocupação do sistema é demasiadamente alta e a fila diverge ao infinito, o que caracteriza uma situação crítica em que os chamados se acumulam de um turno para o outro.

ABSTRACT

The continuity of power supply is one of the most important consumers' expectations. The National Electric Energy Agency (ANEEL) determines indicators of quality and continuity of the service provided by the electric distributors. When the targets established for these indicators are violated, distributors are penalized with fines. Thus, the objective of this article is to size the number of teams needed to reduce the time to reestablishment of electric power in the West Region of Rio de Janeiro. The number of teams must meet the stability condition of queues and the waiting time until calls are finished must be in accordance with ANEEL regulations. In the entire Western Region, it has been found that the system occupancy rate is too high and the queue diverges to infinity, which characterizes a critical situation in which calls accumulate from one shift to another.

1. INTRODUÇÃO

As distribuidoras de energia elétrica lidam diariamente com problemas de interrupção de fornecimento na rede. Nesses casos, equipes de eletricitistas são alocadas para o atendimento das ocorrências e reestabelecimento da energia elétrica (Neto *et al.*, 2011). O fluxo de reparo do sistema elétrico se assemelha ao atendimento de um paciente por uma ambulância. Uma equipe de eletricitistas é designada para atender a ocorrência. O atendimento deve ser feito no menor tempo possível, de modo a minimizar o indicador quantidade de clientes hora interrompidos (número de clientes afetados vezes o número de horas de interrupção). Um aspecto crítico desse sistema é o tempo de espera em fila dos chamados, uma vez a quantidade de chamados, na maior parte das vezes, supera o número de equipes disponíveis (Singer e Donoso, 2008).

As filas de espera estão presentes em diferentes setores tais como bancos, supermercados, barbearias, sinais de trânsito, hospitais. A teoria de filas é uma importante ferramenta para lidar com essas situações. Essa teoria analisa matematicamente o nível de serviço, a taxa de chegadas, o tempo em fila e a taxa de saída dos clientes na fila, além da probabilidade do cliente esperar (Ahmed *et al.*, 2018). A abordagem da teoria de filas permite avaliar se o

dimensionamento atual de recursos do sistema está adequado, ou se serão necessários novos recursos para melhorar o desempenho global do sistema (Fogliatti e Mattos, 2007). O uso da teoria de filas em serviços de atendimento de emergência de natureza hospitalar já vem sendo amplamente adotado na literatura. Essa abordagem proporciona uma ferramenta para analisar o desempenho do sistema, fornece uma maneira de medir a qualidade do serviço e torna possível apoiar uma decisão, como aumentar a quantidade de servidores do sistema (Rodríguez Jáuregui *et al.*, 2017).

No caso das distribuidoras de energia elétrica, o nível de serviço prestado é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Ela avalia a qualidade do serviço através de indicadores de continuidade de serviço que mensuram a confiabilidade e a capacidade de continuidade na prestação de serviço em cada conjunto. Os conjuntos são agrupamentos regionais contendo entre 1000 e 10.000 unidades consumidoras (residências, estabelecimentos, dentre outros). Em caso de descumprimento desses indicadores a distribuidora fica sujeita ao pagamento de multas. Dentre esses indicadores pode-se destacar o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) que mensura a razão entre o somatório de todas as interrupções individuais do conjunto (DIC) pela quantidade de unidades consumidoras faturadas naquele conjunto (ANEEL, 2018).

A política de despacho das equipes de emergência é de fundamental importância na minimização do tempo de atendimento e para o cumprimento da meta de DEC estabelecida pela ANEEL (Steiner *et al.*, 2006). Essa política envolve o dimensionamento do número de equipes disponíveis para o atendimento dos chamados. Uma das formas de lidar com esse tipo de problemas é a abordagem por meio da teoria de filas. Tal abordagem já vem sendo amplamente adotada na literatura para resolução de problemas de dimensionamento de equipes de emergência em serviços de saúde (ambulâncias), do corpo de bombeiros, da polícia militar, dentre outros (ANGELO *et al.*, 2017; ATKINSON *et al.*, 2006; MCMANUS *et al.*, 2004; MENDONÇA; MORABITO, 2001; SHMUELI; SPRUNG; KAPLAN, 2003; CHELST; BARLACH, 1981; LARSON; FRANCK, 1978).

Diante desse cenário, o objetivo desse trabalho é propor um tratamento para os chamados dos serviços de reparo de emergência de uma distribuidora de energia elétrica usando os conceitos de teorias de filas. Esse trabalho encontra-se dividido em seis seções: a seção 1 traz a introdução do artigo com a contextualização e o objetivo geral, a seção 2 traz a revisão da literatura sobre o tema proposto, a seção 3 traz a descrição do problema detalhando o fluxo de reparo de interrupções no sistema elétrico, a seção 4 traz os procedimentos metodológicos incluindo a modelagem pela teoria de filas e os experimentos computacionais, a seção 5 traz os resultados e discussão. Por fim, a seção 6 traz a conclusão do estudo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A falta de energia elétrica por extensos períodos de tempo, popularmente denominada “apagão elétrico”, afeta milhares de pessoas em todo mundo. Em 26 de abril de 2007, por exemplo, uma falha do sistema elétrico na Colômbia deixou aproximadamente 1 milhão de pessoas sem luz durante 4,5h (Ruiz *et al.*, 2008). Em 31 de julho de 2012, 670 milhões de pessoas sofreram interrupção no abastecimento de energia elétrica na Índia. Nesse caso, a restauração do sistema elétrico levou entre 2 e 8 horas. Em 31 de março de 2015, 70 milhões de pessoas ficaram mais de 7 horas sem energia elétrica na Turquia (Alhelou *et al.*, 2019).

Quando um apagão ocorre, a expectativa dos consumidores é que o sistema seja reestabelecido no menor tempo possível, uma vez que as consequências para os moradores impactado pode ser catastrófica. Por exemplo, em 2012 um apagão na Índia custou 600 milhões de dólares. Em 2013, um apagão afetou 50 milhões de pessoas e custou 10000 milhões de dólares nos Estados Unidos. Apesar da América Latina ter um número menor de apagões do que a Ásia, Europa e África, o tempo para o reestabelecimento da energia elétrica é maior (Laghari *et al.*, 2013).

Desse modo, o dimensionamento correto de equipes de reparo da energia elétrica é uma importante medida para mitigar os danos de um apagão, uma vez que essas equipes de eletricitistas são responsáveis por reestabelecer o sistema danificado. Cabe destacar que apesar dos recentes avanços no uso da pesquisa operacional para otimização de problemas do setor elétrico, esse campo ainda permanece pouco explorado (Perrier *et al.*, 2013). Tal lacuna serviu de motivação para a realização desse estudo.

3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

3.1. Área de estudo

A companhia estudada é a distribuidora de energia elétrica responsável por atender uma área de 10970 Km² no Estado do Rio de Janeiro, prestando serviço a mais de 10 milhões de pessoas. Para administrar e reparar falhas, essa área de atendimento encontra-se dividida em 5 unidades gerenciais: Vale, Baixada, Oeste, Leste e Centro-Oeste (Fig. 1).

A unidade gerencial analisada nesse trabalho foi a Regional Oeste. Essa regional abrange as áreas Zona Oeste, Bangu, Jacarepaguá, Itaguaí e Seropédica. O objetivo do estudo foi avaliar o dimensionamento atual de equipes de atendimento para Regional Oeste.

Ao todo a Regional Oeste conta com 19 conjuntos ANEEL: Brisa Mar, Ari Franco, Cachamorra, Camara, Cascadura, Cosmos, Curicica Aereo, Esperança Aereo AT/MT, Esperança Aereo MT/MT, Itaguaí, Jaboatao Aereo, Mato Alto, Padre Miguel, Porta Dagua Aereo, Santissimo, Seropedica, Taquara, Vila Valqueire e Zona Industrial. Cada um desses conjuntos conta com metas de DEC próprias (ANEEL, 2018).

Paralelamente a divisão em conjuntos ANEEL, para fins gerenciais, a Regional encontra-se subdivida em três subáreas: Campo Grande, Jacarepaguá e Itaguaí. Todas as análises desse estudo foram feitas com a divisão em subáreas, uma vez que esse é o padrão da distribuidora para tomada de decisão quanto a quantidade de equipes. Dos 19 conjuntos ANEEL, 17 tiveram a demanda de chamados para o ano de 2017 contabilizados nas nossas análises. Os conjuntos de Camara e Santíssimo Aéreo, por estarem localizados em mais de uma subárea

(região de fronteira), foram desconsiderados.

Desse modo, a subáreas abrangem, respectivamente os conjuntos de:

- Campo Grande: Zona Industrial, Cosmos, Esperança Aéreo AT/MT, Cachamorra, Mato Alto, Jaboatão Aéreo;
- Jacarepaguá: Vila Valqueire, Ari Franco, Curicica Aéreo, Cascadura Aéreo, Padre Miguel, Porta Dagua Aéreo, Taquara Aéreo;
- Itaguaí: Seropédica Aéreo, Itaguaí, Esperança Aéreo MT/MT, Brisa Mar.

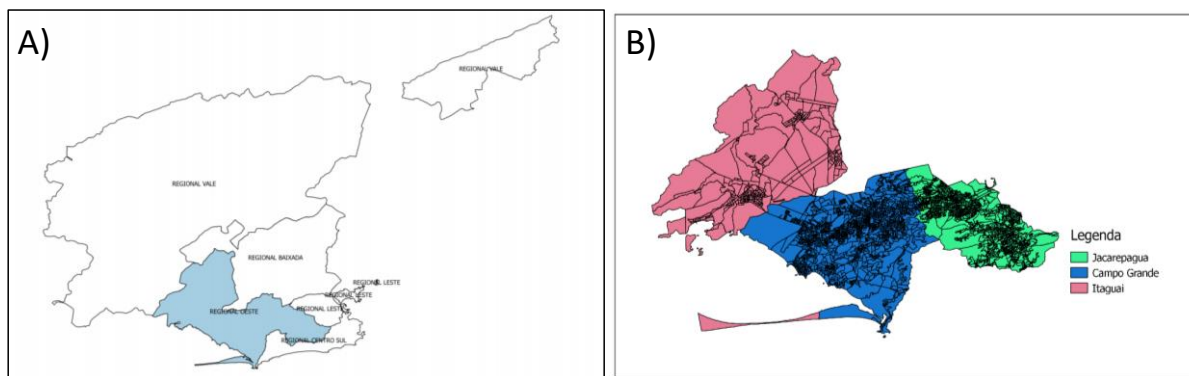


Figura 1: Divisão da área de atendimento da distribuidora elétrica do Rio de Janeiro A) em 5 unidades gerenciais: Regional Vale, Regional Baixada, Regional Oeste, Regional Leste e Regional Metropolitana e em B) subáreas gerenciais.

3.2. Fluxo de atendimento dos chamados

3.2.1. Despacho das equipes

Quando um cliente sofre uma interrupção no fornecimento de energia elétrica, ele telefona para o sistema de atendimento ao cliente relatando o problema. Todas as reclamações na mesma região de atendimento (como clientes na mesma rua abastecidos pelo mesmo transformador) são agrupadas em um único número de ocorrência. Os números de ocorrência são transferidos para o Centro Regional de Emergência (CRE) que faz a alocação das equipes de atendimento disponíveis para cada chamado. Suponha que na mesma rua, 10 vizinhos fiquem sem luz e liguem solicitando o reestabelecimento de energia, essas reclamações geram um único número de chamado, pois são referentes ao mesmo local. Quando o chamado for resolvido, significa que a energia foi reestabelecida na rua. Durante o tempo em que o chamado ficar em aberto não apenas as 10 pessoas que fizeram a reclamação, mas todas aquelas associadas ao equipamento que deu defeito, por exemplo um transformador, são consideradas sem luz para termos de DEC. Chamados de média (entre 1 kV e 69 kV) e baixa tensão (até 1 kV em corrente alternada) compartilham as mesmas equipes. Chamados de alta tensão (entre 69 kV e 230KV) requerem equipes com treinamento especial e não serão analisadas nesse estudo.

3.2.2. Equipes de atendimento de emergência

As equipes de atendimento de emergência são compostas por dois eletricitistas. As equipes trabalham em regime contínuo 24 horas por dia, 7 dias por semana. Os turnos de trabalho podem ser assumidos como manhã (7:00 às 15:00), tarde (15:00 às 23:00) e madrugada (23:00 às 7:00). A quantidade de equipes varia com a área e o turno (Tabela 1).

Tabela 1: Número de equipes disponíveis em cada área da Regional Oeste por turno

Turno	Jacarepaguá	Campo Grande	Itaguai
07-15h	10	8	3
15-23h	9	7	3
23-07h	3	3	2

3.2.3. Duração dos chamados

O tempo entre o registro da reclamação do cliente pelo *call center* e a designação da equipe para atendimento dos chamados é chamado tempo de preparo. O tempo que as equipes levam para chegar até o local do reparo é o tempo de deslocamento. O tempo que levam para identificar o problema e reestabelecer a energia é o tempo de execução. O tempo de atendimento das ocorrências é soma do tempo de preparo, do tempo de deslocamento e do tempo de reparo. Juntos o tempo de preparo e o tempo de deslocamento caracterizam o tempo do chamado em fila (Fig. 2).

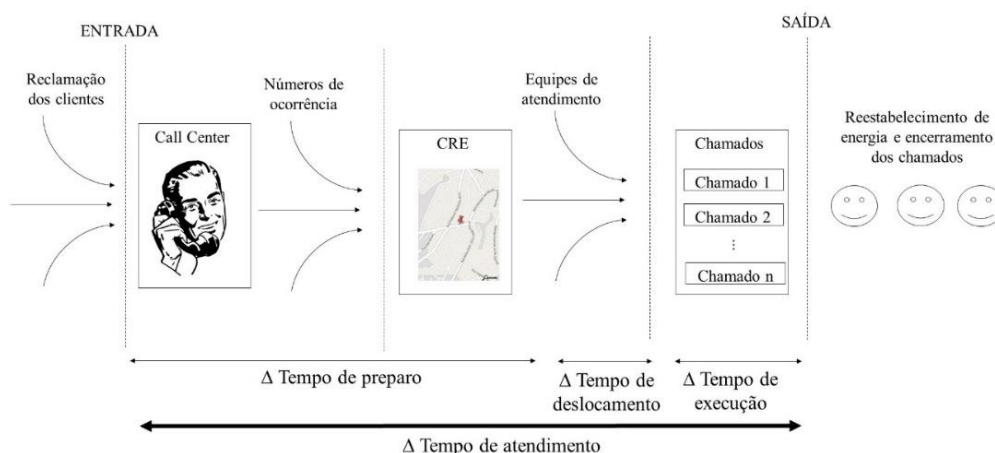


Figura 2: Fluxo de atendimento das ocorrências

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1. Modelagem do problema

Nos serviços de atendimento de emergência, por conta de a dimensão da população ser muito grande (podendo ser aproximada do infinito), a chegada de novos “clientes” a fila costuma caracterizar-se como um evento raro e aleatório. Além disso, para facilitar o tratamento dos problemas, a taxa média de entrada de novos clientes na fila (λ) geralmente é assumida constante ao longo de todo processo. Tais premissas possibilitam caracterizar o padrão estatístico com que os clientes chegam a fila como regido pela distribuição de Poisson, o que equivale ao tempo entre chegadas consecutivas seguindo a distribuição Exponencial. Outra premissa usualmente adotada é que todos os servidores possuem a mesma distribuição no tempo de atendimento (μ), sendo essa distribuição assumida exponencial na maioria dos casos.

Com base nisso, o processo estocástico de nascimento-e-morte de filas foi adotado para a modelagem do problema em questão. Assumiu-se que as taxas médias de chegada de novos clientes (λ) e de atendimento do sistema (μ) são constantes, enquadrando o problema no caso

especial de nascimento-e-morte conhecido como M/M/C (sendo o primeiro M referente a distribuição do tempo entre chegadas markoviana, isso é, exponencial, o segundo M referente a distribuição do tempo de serviço markoviana e o C referente ao número de equipes de atendimento de emergência). Essa abordagem é bastante usada para o tratamento de problemas usando a teoria de filas (Angelo *et al.*, 2017).

Nesse problema o tempo total de duração do chamado foi assumido igual ao tempo em fila. Essa premissa foi adotada pela impossibilidade de discriminar os tempos em nível de abertura maior, além disso observa-se experimentalmente que o tempo em fila é responsável pela maior parte do tempo de duração do chamado.

Como consequência do modelo M/M/C, considerado a área (i) e o turno (j). I = [Jacarepaguá, Campo Grande, Itaguaí] e J = [manhã, tarde, madrugada]:

$$\text{Tempo esperado entre a chegada de dois chamados consecutivos} = \frac{1}{\lambda_{ij}} \quad (1)$$

$$\text{Tempo esperado de duração de serviço} = \frac{1}{\mu_{ij}} \quad (2)$$

A taxa de chegada de novos clientes deve atender a seguinte relação:

$$0 < \lambda_{ij} < \infty \quad (3)$$

De forma análoga, a taxa de serviço deve atender:

$$0 < \mu_{ij} < \infty \quad (4)$$

Nesse caso, μ_{ij} representa a taxa de atendimento do sistema, considerando que haja apenas uma equipe fazendo o atendimento.

Para que o sistema seja estável, deve-se atender a seguinte relação:

$$\lambda_{ij} < C_{ij}\mu_{ij} \quad (5)$$

Isso significa que a taxa de serviço total, considerando todas as equipes disponíveis, deve ser superior à taxa de demanda. Caso contrário, o sistema é instável e a fila diverge para infinito.

A fração de tempo em que as equipes individuais estão ocupadas:

$$\rho_{ij} = \frac{r_{ij}}{C_{ij}} = \frac{\lambda_{ij}}{C_{ij}\mu_{ij}} \quad (6)$$

Probabilidade de que não haja chamados na fila:

$$P_{0\ ij} = \left(\sum_{n=0}^{C_{ij}-1} \frac{r_{ij}^n}{n!} + \frac{C_{ij} r_{ij}^{C_{ij}}}{C_{ij}!(C_{ij}-r_{ij})} \right)^{-1} \quad (7)$$

O número de chamados na fila é dado por:

$$L_{q_{ij}} = \frac{P_{0_{ij}} C_{ij} r_{ij}^{C_{ij}+1}}{C_{ij}!(C_{ij}-r_{ij})^2} \quad (8)$$

O número de chamados no sistema é de

$$L_{ij} = r_{ij} + \left[\frac{r_{ij}^{C_{ij}+1} C_{ij}}{C_{ij}!(C_{ij}-r_{ij})^2} \right] P_{0_{ij}} \quad (9)$$

Tempo médio de espera do chamado na fila, excluindo o tempo de execução do serviço:

$$W_{q_{ij}} = \frac{r_{ij}^c \mu}{(C_{ij}-1)!(C_{ij} \mu_{ij} - \lambda_{ij})^2} P_{0_{ij}} \quad (10)$$

Tempo médio dos chamados no sistema é de:

$$W_{ij} = \frac{1}{\mu_{ij}} + \left[\frac{r_{ij}^{C_{ij}} \mu_{ij}}{(C_{ij}-1)!(C_{ij} \mu_{ij} - \lambda_{ij})^2} P_{0_{ij}} \right] \quad (11)$$

4.2. Regulação ANEEL

A ANEEL estabelece metas de DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). As metas são estabelecidas por conjunto por mês, trimestre e ano. A partir das metas de DEC mensais foram calculadas as metas por área, através da média dos conjuntos que compõem cada uma delas (Tabela 2). Como premissa desse estudo, os valores mensais de DEC por área foram assumidos como valores alvo de tempo de permanência em fila (w_q) em horas.

Tabela 2: Tempo alvo de permanência em fila calculado através da meta mensal de DEC por conjunto

Área	DEC/ w_q (h)
Campo Grande	3,0
Jacarepaguá	2,7
Itaguaí	3,6

4.3. Experimentos computacionais

Foi feita uma caracterização do sistema no regime estacionário através do cálculo da taxa de utilização do sistema (ρ) considerando a amostra de dados analisada, também foi calculada a probabilidade de ociosidade do sistema (P_0). Em seguida foram calculadas as medidas de desempenho do sistema: Número médio de chamados na fila (L_q), número médio de chamados no sistema (L), tempo médio de espera na fila (w_q) e tempo médio de permanência no sistema (w). Em seguida foi feita uma análise de sensibilidade com o aumento do número de equipes. Todos os cálculos foram feitos no software Python 3.6.5.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise preliminar dos dados

Nessa etapa foi feita uma investigação de padrões na amostra de dados analisada com base da

divisão por áreas e por turnos (Fig. 3). Atualmente a quantidade de equipes disponíveis é determinada por esses dois fatores.

Em relação aos turnos observou-se uma concentração no turno da manhã no período de abril a novembro, e um acentuado aumento da participação relativa do turno da tarde nos meses de dezembro a março. Em dezembro e em janeiro o turno da tarde supera o da manhã na quantidade de chamados. De modo geral, para todos os turnos, o intervalo de dezembro a março apresenta um volume de chamados maior do que o resto dos meses.

No que se refere as áreas, o número de chamados nas áreas de Campo Grande e Jacarepaguá é próximo em todo o período analisado, e muito superior a área de Itaguaí, que se destacou com o menor volume de chamados.

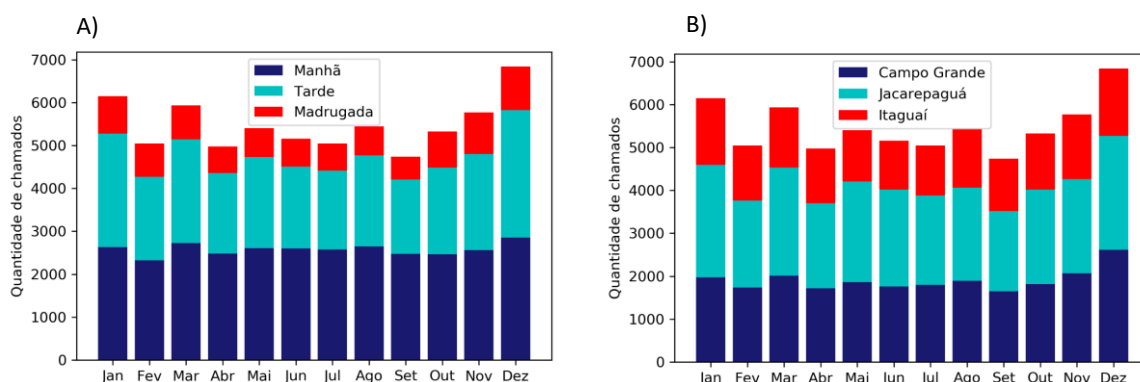


Figura 3: Quantidade de chamados da amostra estratificada por A) turno e por B) Área.

5.2. Tempo entre chegadas e atendimentos sucessivos

Verificou-se que os tempos de chegada e atendimento seguiam a distribuição exponencial para todos os cenários em conformidade com as premissas assumidas (Fig. 4).

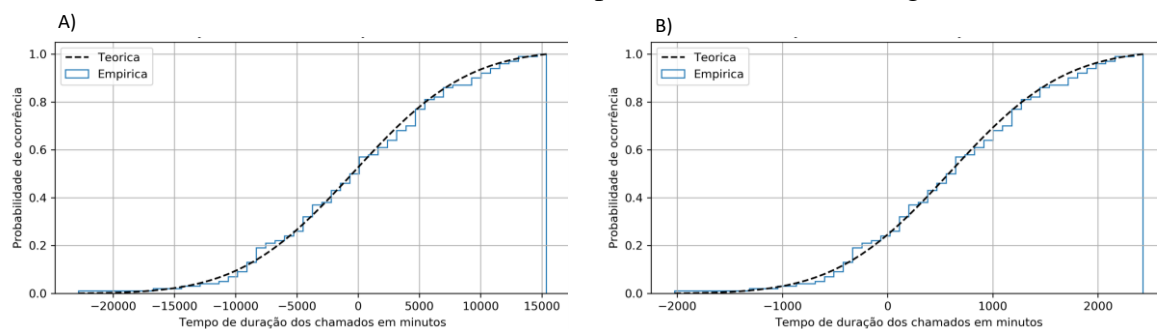


Figura 4: Distribuição acumulada do a) intervalo entre as chamadas e do (b) tempo de atendimento. A figura é referente a área de Campo Grande no turno da manhã, considerando os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março.

5.3. Análise do status atual dos cenários pela abordagem da teoria de filas

Na análise do status atual dos cenários considerados (Tabela 3), verificou-se que em todos os cenários a taxa de ocupação do sistema (ρ) era superior a 1, sendo os maiores valores identificados nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro de 2017. Essa situação caracteriza que o sistema está operando bem acima da sua capacidade, ou seja, o fluxo de chamados que entram é muito superior do que fluxo de chamados que saem do sistema e a fila

diverge para o infinito. Essa situação foi condizente com os relatos da distribuidora de energia em que muitos chamados precisam ser atendidos no turno seguinte, pois as equipes não conseguem finalizar todos os chamados no turno em que são abertos.

Tabela 3: Caracterização do regime estacionário e medidas de desempenho para todos os cenários do problema analisado.

			ρ	p_0	L_q	L	w_q	W
Campo Grande	Jan- Mar; Dez	Manhã	4,64	0,00	-5,92	31,22	-63,96	337,51
		Tarde	7,73	-1,93	-8,88	45,21	-64,17	326,90
		Madrugada	6,39	-0,03	-7,58	11,60	-117,87	180,44
	Abr- Nov	Manhã	3,60	0,00	-4,99	23,85	-53,10	253,82
		Tarde	5,34	0,00	-6,57	30,83	-81,83	383,79
		Madrugada	3,03	-0,05	-4,53	4,58	-114,32	115,61
Jacarepaguá	Jan- Mar; Dez	Manhã	3,56	-0,01	0,00	30,64	-43,34	268,31
		Tarde	5,71	0,00	-6,92	44,43	-58,91	2816,44
		Madrugada	4,62	-0,04	-5,90	7,97	-119,94	162,02
	Abr- Nov	Manhã	3,29	-0,02	-4,73	28,18	-42,49	253,25
		Tarde	4,62	-0,02	0,00	35,70	-65,57	396,87
		Madrugada	3,42	-0,05	-4,83	5,42	-135,58	152,08
Itaguaí	Jan- Mar; Dez	Manhã	6,84	-0,03	-8,01	12,50	-108,47	169,34
		Tarde	8,10	-0,02	-9,24	15,06	-103,28	168,30
		Madrugada	3,66	-0,36	-5,03	2,28	-170,57	77,28
	Abr- Nov	Manhã	5,38	-0,03	-6,61	9,54	-98,66	142,32
		Tarde	5,16	-0,03	-6,40	9,09	-124,07	176,07
		Madrugada	1,44	-0,15	-4,70	-1,82	-168,76	-65,18

5.4. Análise da sensibilidade do tempo na fila (w_q) à variação de equipes

Como todos os cenários analisados apresentaram taxa de ocupação maior do que 1, foi feita uma análise de sensibilidade para encontrar a quantidade de equipes capaz de satisfazer as condições da teoria de filas e reduzir o tempo em espera de modo a atender ao w_q alvo (Tabela 1). Mantida a taxa de utilização atual, a quantidade de equipes necessárias ao bom funcionamento do sistema de filas para as regiões de Campo Grande, Jacarepaguá e Itaguaí foi bastante superior as condições atuais do sistema, principalmente nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro. Esses são os meses mais quentes e chuvosos do ano (Silveira, 2018). Lima et al. (2015) destaca que a proximidade das árvores da rede elétrica aumento o risco de interrupções no fornecimento de energia elétrica na estação de chuvas. Isso acontece porque a força das chuvas e ventos intensos faz com que as árvores se inclinem sobre a rede elétrica causando curto circuito. Além disso, nos meses de verão, o consumo de energia elétrica aumenta e consequentemente os riscos de sobrecarga do sistema. Em relação aos turnos, o da tarde foi o mais crítico. Como as quantidades de equipes necessárias a atender o w_q alvo foram excessivamente altas, por exemplo, em Campo Grande no turno da manhã nos meses mais quentes do ano, o número de equipes necessárias é quase 4 vezes maior do que no cenário atual. Este comportamento é mostrado na Fig. 5 e Fig. 6, que indicam a quantidade de equipes necessárias em relação ao tempo médio na fila, para a área de Campo Grande. Vale ressaltar que o comportamento das demais áreas foi análogo, mostrando a necessidade de se implementar medidas para diminuição desse tempo médio nas filas, especialmente para os meses de dezembro a março, que são os mais críticos para o sistema. A resolução deste

problema poderia estar no aumento do número de equipes, mas percebe-se que este aumento é expressivo, o que pode ser inviável para empresa somente esta solução, em vista dos altos custos e capacidade de recursos para o atendimento. Uma possível alternativa seria a redução do tempo de atendimento através de modelos de otimização (Akdoğan *et al.*, 2018; Boloori Arabani e Farahani, 2012; Murray, 2016).

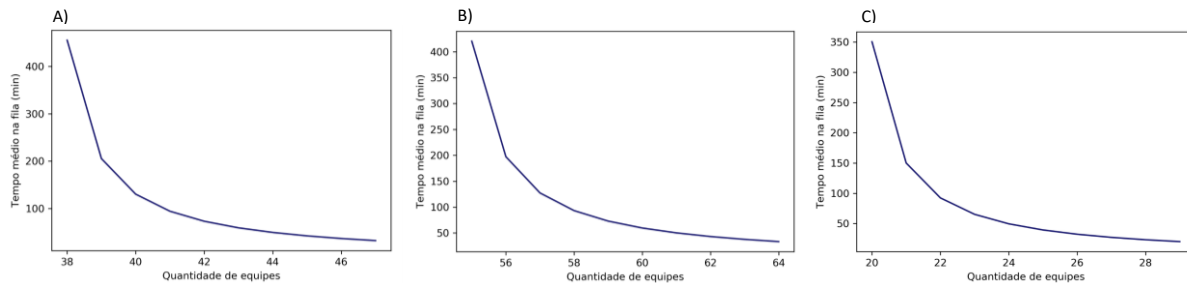


Figura 5: Área de Campo Grande no período de janeiro, fevereiro, março e dezembro de 2017 nos turnos da A) Manhã, B) Tarde e C) Madrugada.

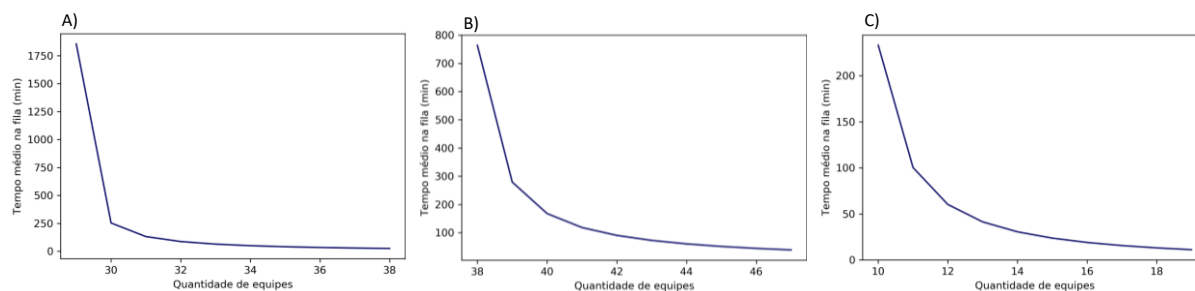


Figura 6: Área de Campo Grande no período de abril a novembro de 2017, nos turnos da A) Manhã, B) Tarde e C) Madrugada.

6. CONCLUSÃO

O comportamento da amostra de dados de ocorrências de interrupção na rede elétrica se mostrou compatível com a abordagem de teoria de filas, visto que a distribuição empírica com os dados reais amostrados foi semelhante a distribuição teórica exponencial. Isto indica que a utilização da teoria de filas é aplicável para o problema sob estudo e um caminho de pesquisa a ser explorado.

A partir da análise exploratória dos dados, percebeu-se que a maior parte da quantidade de chamados ficou concentrada durante os meses mais chuvosos e quentes do ano, evidenciando que as condições meteorológicas podem ser variáveis explicativas para o número de chamados de reparo da rede elétrica, bem como para a duração dos mesmos. Dessa forma, é importante que o estudo sobre o tempo de atendimento seja feito considerando o aspecto sazonal. A análise foi então realizada separadamente nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro e nos meses de abril a novembro. Com os estudos feitos, verificou-se que atualmente todos as áreas e turnos operam com a taxa de ocupação do sistema bastante superior a 1, ou seja, mantidas a taxa de chegadas e a taxa de atendimento de chamados, a quantidade de equipes não consegue suprir a demanda de chamados em seus respectivos

turnos, acumulando sempre trabalho para o turno da seguinte. Adicionalmente a contratação de novas equipes, recomenda-se que novos estudos sejam feitos para a redução de tempo de atendimento dos chamados através de modelos de otimização. Além disso, novos estudos envolvendo modelos causais de previsão para a quantidade de chamados utilizando como variáveis explicativas o volume de chuvas e a intensidade de ventos poderiam aprofundar a compreensão dos fenômenos aqui descritos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CNPq pelo apoio financeiro. Esse estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem a distribuidora de energia Light S.A. pela cooperação ao longo do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, S., Saidur Rahaman, M., e Abdul Hamid, M. (2018) Expected Actual Waiting Time and Service Delivery Evidence Using Queuing Theory in Selected Banking Institutions in Bangladesh. *JIBM) Journal of International Business and Management RPA Journals Journal of International Business and Management*, 1(2), 1–14. Obtido de <https://rpajournals.com/jibmJournalHomepage:https://rpajournals.com/jibm>
- Akdoğan, M. A., Bayındır, Z. P., e Iyigun, C. (2018) Locating emergency vehicles with an approximate queuing model and a meta-heuristic solution approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 90(January), 134–155. doi:10.1016/j.trc.2018.01.014
- Alhelou, H. H., Hamedani-Golshan, M. E., Njenda, T. C., e Siano, P. (2019) A survey on power system blackout and cascading events: Research motivations and challenges. *Energies*, 12(4), 1–28. doi:10.3390/en12040682
- ANEEL. (2018) Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. *PRODIST Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica, Revisão 10*. Obtido de http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo_8-Revisão_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9
- Angelo, S. A., Arruda, E. F., Goldwasser, R., Lobo, M. S. C., Salles, A., e Silva, J. R. L. e. (2017) Demand Forecast and Optimal Planning of Intensive Care Unit (Icu) Capacity. *Pesquisa Operacional*, 37(2), 229–245. doi:10.1590/0101-7438.2017.037.02.0229
- Atkinson, J. B., Kovalenko, I. N., Kuznetsov, N. Y., e Mikhalevich, K. V. (2006) Heuristic methods for the analysis of a queuing system describing emergency medical service deployed along a highway. *Cybernetics and Systems Analysis*, 42(3), 379–391. doi:1060-0396/06/4203-0379
- Boloori Arabani, A., e Farahani, R. Z. (2012) Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. *Computers and Industrial Engineering*, 62(1), 408–420. doi:10.1016/j.cie.2011.09.018
- Chelst, K. R., e Barlach, Z. (1981) Multiple Unit Dispatches in Emergency Services: Models to Estimate System Performance. *Management Science*, 27(12), 1390–1409. doi:10.1287/mnsc.27.12.1390
- Fogliatti, M. C., e Mattos, N. M. C. (2007) *Teoria de filas*. (Interciência, Ed). Rio de Janeiro.
- Laghari, J. A., Mokhlis, H., Bakar, A. H. A., e Mohamad, H. (2013) Application of computational intelligence techniques for load shedding in power systems: A review. *Energy Conversion and Management*, 75(August 2003), 130–140. doi:10.1016/j.enconman.2013.06.010
- Larson, R. C., e Franck, E. A. (1978) Evaluating dispatching consequences of automatic vehicle location in emergency services. *Computers and Operations Research*, 5(1), 11–30. doi:10.1016/0305-0548(78)90014-X
- Lima, H. de, Costa, R. da, Soares, A. da S., e Laureano, G. T. (2015) Reconhecimento de árvores usando visão computacional para prevenir interrupções no sistema. *XI Brazilian Symposium on Information System* (p. 135–138). Goiânia, GO.
- McManus, M. L., Long, M. C., Cooper, A., e Litvak, E. (2004) Queuing theory accurately models the need for critical care resources. *Anesthesiology*, 100(5), 1271–1276. Obtido de http://ws.isiknowledge.com/cps/openurl/service?url_ver=Z39.88-2004&rft_id=info:ut/000221070400031
- Mendonça, F. C., e Morabito, R. (2001) Analysing emergency medical service ambulance deployment on a brazilian highway using the hypercube model. *Journal of the Operational Research Society*, 52(3), 261–270. doi:10.1057/palgrave.jors.2601097
- Murray, A. T. (2016) Maximal Coverage Location Problem: Impacts, Significance, and Evolution. *International Regional Science Review*, 39(1), 5–27. doi:10.1177/0160017615600222

- Neto, V. V. G., Teles, R. M., Ivamoto, M., Mello, L. H. S., e Carvalho, C. L. de. (2011) Um Sistema de Apoio à Decisão Baseado em Agentes para Tratamento de Ocorrências no Setor Elétrico. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 17(2), 139–153. Obtido de http://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/rita_v17_n2_p139
- Perrier, N. survey of models and algorithms for emergency response logistics in electric distribution systems. P. I. R. planning with fault considerationsathalie, Agard, B., Baptiste, P., Frayret, J.-M., Langevin, A., Pellerin, R., Riopel, D., e Trépanier, M. (2013) A survey of models and algorithms for emergency response logistics in electric distribution systems. Part I: Reliability planning with fault considerations. *Computers and Operations Research*, 40(7), 1895–1906. doi:10.1016/j.cor.2013.01.016
- Rodríguez Jáuregui, G. R., González Pérez, A. K., Hernández González, S., e Hernández Ripalda, M. D. (2017) Análisis del servicio de urgencias aplicando teoría de líneas de espera. *Contaduría y Administración*, 62(3), 733–745. doi:10.1016/j.cya.2017.05.001
- Ruiz, C. A., Orrego, N. D. J., e Gutierrez, J. F. (2008) The Colombian 2007 black out. *2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, T and D-LA*, 1–5. doi:10.1109/TDC-LA.2008.4641845
- Shmueli, A., Sprung, C. L., e Kaplan, E. H. (2003) Optimizing admissions to an intensive care unit. *Health Care Management Science*, 6(3), 131–136.
- Silveira, E. da. (2018) Verão 2019: Brasil deve se preparar para estação mais quente e chuvosa com impacto de El Niño. *BBC News Brasil*. Obtido 11 de julho de 2019, de <https://www.bbc.com/portuguese/geral-46629024>
- Singer, M., e Donoso, P. (2008) Assessing an ambulance service with queuing theory. *Computers and Operations Research*, 35(8), 2549–2560. doi:10.1016/j.cor.2006.12.005
- Steiner, M. T. A., Costa, C. E. D. S., Costa, D. M. B., Filho, É. A., e Zambenedetti, V. C. (2006) Técnicas da pesquisa operacional aplicadas à logística de atendimento aos usuários de uma rede de distribuição de energia elétrica. *Revista Eletrônica Sistemas & Gestão*, 1(3), 229–243.