

Metodologia e Ferramenta Computacional para a Otimização Estocástica de Turmas e Bases de Atendimento Com Foco na Melhoria de Indicadores de Continuidade

Henrique Kagan, Marcelo Aparecido Pelegri, Gabriel Albieri Quiroga, Gustavo de Góis Himeno, Pedro França de Oliveira Caputo

Sinapsis Inovação em Energia
henrique.kagan@sinapsisenergia.com

André Klein

Eletrobrás Distribuição Acre
andre.klein@eletrobrasacre.com

Nelson Kagan

Universidade de São Paulo
nelsonk@pea.usp.br

Resumo — Neste artigo são apresentadas metodologia e implementação de ferramenta computacional para o planejamento da logística de atendimento de ocorrências não programadas em distribuidoras de energia, tendo como objetivo a melhoria dos seus indicadores de continuidade. Devido à aleatoriedade dos processos associados a essas ocorrências, foi utilizada simulação discreta de eventos baseando-se no histórico de ocorrências da rede junto à modelagem da otimização estocástica do problema com relação aos tempos de atendimento. Para a resolução do problema de otimização foi empregada a meta-heurística algoritmo genético, dada a natureza combinatória do problema. A ferramenta computacional foi desenvolvida sobre a plataforma de cálculo elétrico SINAPgrid. Para a validação da ferramenta realizou-se um estudo de caso real em associação com a Eletrobras Distribuição Acre.

Palavras-chaves — Algoritmos genéticos, confiabilidade, distribuição de energia, otimização estocástica, qualidade do serviço, workforce management.

I. INTRODUÇÃO

A operacionalização dos atendimentos sejam eles emergenciais, técnicos ou comerciais, necessários ao funcionamento do sistema elétrico de distribuição, vêm atingindo patamares de custo e complexidade crescentes. Aliado a estes fatores podem-se acrescentar as exigências de níveis de qualidade de atendimento aos clientes do sistema de distribuição em quesitos tais como a continuidade de fornecimento, programação de atividades técnicas na rede e atendimentos comerciais. No caso da área de concessão das empresas do grupo Eletrobrás, estes atendimentos ganham maiores dificuldades, dados a extensão da rede elétrica e as múltiplas possibilidades de turmas de atendimento, terceirizadas ou próprias, em sobreaviso, etc. Estes fatores, unido às complexidades crescentes dos serviços de operação

do sistema de distribuição de energia, motiva o desenvolvimento de ferramentas computacionais que deem suporte à gestão, ao controle e que permitam a otimização dos recursos necessários à demanda de atendimentos, provendo maior eficiência e eficácia ao sistema.

Neste âmbito o presente trabalho, resultado de projeto de pesquisa e desenvolvimento, desenvolveu metodologia e implementou ferramenta de otimização e análise para alocação e dimensionamento de bases e turmas de atendimento baseada em técnicas de simulação e de inteligência artificial.

O problema de alocação de bases e turmas pode ser classificado dentro da classe de problemas de localização de instalações tratando basicamente do atendimento de n destinos por um número de origens p . Ao longo dos anos, foram desenvolvidos diversos algoritmos evolutivos para a resolução dessa classe de problemas, também conhecidos como NP-completos. Podem ser citados: busca tabu [1], *scatter search* [2], algoritmos genéticos, entre outros.

Podem-se destacar alguns trabalhos que tem como meta auxiliar o planejador na alocação de turmas de atendimento a determinada região de atendimento de forma a melhorar a qualidade do serviço de distribuição e o consequente atendimento de metas de indicadores e redução das compensações regulatórias dependentes de indicadores individuais de atendimento. Dentre estes trabalhos podem-se destacar os que se limitam a avaliar o desempenho em termos dos tempos de atendimento das equipes associadas a uma determinada área pré-determinada sem discriminação de bases de atendimento, levando-se em conta a natureza aleatória dos processos envolvidos (geração da ocorrência, tempos de alocação de turma, deslocamento e reparo) de forma analítica com base na teoria das filas [3]-[4] ou através da simulação discreta dos eventos de atendimento [5]. Outros trabalhos visam à otimização da localização de turmas de atendimento,

sem, no entanto, levar em conta a natureza aleatória do problema [6]-[7].

O problema tratado levou em conta o trade-off, conforme ilustrado na Fig. 1, entre os custos de atendimento de ocorrências e os custos relacionados à qualidade do serviço, representado pelas compensações ou custos regulatórios incorridos pela distribuidora, gerando solução de compromisso representada pelo número de turmas ótimo e a respectiva distribuição entre bases de atendimento.

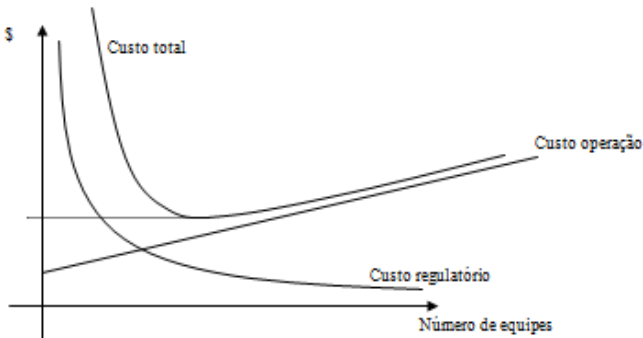


Fig. 1. Trade-off entre Custos de Operação e Custos Regulatório

Para a região de concessão da Eletrobras Distribuição Acre, foram definidas áreas independentes com relação ao atendimento, para a aplicação do problema, denominadas polos de estudo, conforme ilustrado na Fig. 2.

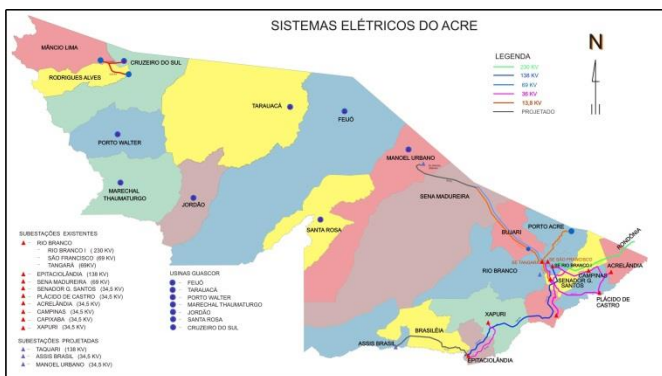


Fig. 2. Polos de Estudo da Região de Concessão da Eletrobras Acre

Neste âmbito o presente trabalho, de forma inovadora, levou em conta a natureza aleatória do problema de avaliação do dimensionamento de turmas através da modelagem da formação de bases de atendimento através de técnica de agrupamento (clusterização) e método de Monte Carlo para a simulação discreta de eventos. Outro ponto inovador no presente trabalho reside no tratamento explícito para o problema do cálculo dos indicadores de continuidade através de algoritmo de confiabilidade tratando diretamente a topologia e a distribuição de cargas da rede elétrica de distribuição. Este permitiu o cálculo de compensações regulatórias em função dos indicadores individuais modelados a priori. Finalmente, com a possibilidade de avaliação de alternativas de número e distribuição de bases e número e alocação de turmas por base de atendimento, foi desenvolvido otimizador estocástico com relação aos tempo de atendimento das ocorrências, cuja função objetivo levou em conta os custos unitários históricos de turmas de atendimento e custos relacionados à qualidade do atendimento (custo da END, energia não distribuída, custo de compensações regulatórias), utilizando meta-heurística de otimização denominada algoritmo genético.

Com o objetivo de apresentar os principais pontos metodológicos, a implementação computacional e teste em caso piloto real, os seguintes pontos serão percorridos neste trabalho:

A. Metodologia para otimização estocástica de turmas de atendimento

- 1) Descrição geral
- 2) Formação de bases de atendimento através de Método de agrupamento (Clusterização)
- 3) Simulação discreta aplicada ao problema de atendimento de ocorrências
- 4) Cálculo de indicadores de continuidade através de Algoritmo de Confiabilidade
- 5) Problema de otimização estocástica através de algoritmo genético

B. Resultados em caso piloto.

O projeto de P&D que deu origem a este artigo é intitulado “Planejamento de recursos operativos para o alcance de metas de indicadores de continuidade na rede de distribuição usando modelos de otimização com base na simulação estocástica de eventos discretos”, código PD-0026-0211/2011, tendo sido realizado dentro do programa de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL e teve a Eletrobras Distribuição Acre, como proponente e a FDTE, Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia, como executora.

II. DESENVOLVIMENTO

A. Metodologia para Otimização Estocástica de Turmas de Atendimento

1) Descrição geral

A metodologia proposta no presente projeto foi dividida em três etapas, conforme fluxograma apresentado na Fig. 3:

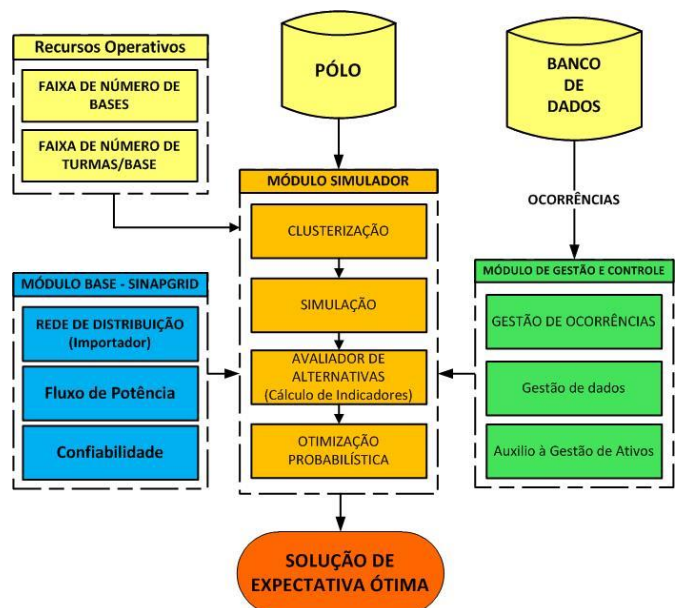


Fig. 3. Fluxograma simplificado da metodologia

O problema é definido através da escolha de determinada área geográfica, com relativa independência operacional, denominada polo de estudo, do período de meses de análise, de banco de ocorrências “fechadas”, contendo informações

básicas dos instantes de atendimento, abrangência, e equipamento de proteção atuado e da definição de faixas de recursos operativos para as variáveis de decisão do problema, número de bases e número de turmas de atendimento por base.

As três grandes etapas discriminadas, que convergem para a solução ótima relativa às variáveis de decisão número de bases de atendimento e número de turmas por base, ilustradas na Fig. 3, são o Módulo de Gestão e Controle, o Módulo Base: Plataforma de rede e cálculo elétrico SINAPgrid, e o Módulo Simulador.

O Módulo de Gestão e Controle, com relação ao Módulo Simulador tem como função a ordenação e localização de equipamentos na rede elétrica, relativos ao conjunto de ocorrências no período de estudo e na preparação das distribuições das variáveis necessárias a simulação.

O Módulo Base tem como função a avaliação de possibilidades de número de bases de atendimento e de turmas por base de atendimento. A avaliação contempla o cálculo de indicadores de continuidade coletivos (DEC, FEC, END) e individuais (DIC, FIC) e compensações regulatórias anuais. Para tal são utilizados algoritmos de confiabilidade e cálculo de fluxo de potência.

O Módulo Simulador, conforme ilustrado na Fig. 3, tem o papel percorrer as seguintes etapas:

- Clusterização: definição de bases de atendimento ótimas através de metodologia de agrupamento ou de formação de clusters baseado na distribuição de ocorrências no polo de estudo.
- Simulação: nesta etapa através da distribuição das variáveis de tempo entre falhas e tempos de atendimento (deslocamento e reparo) em cada base de atendimento definida na etapa anterior, é realizada a simulação discreta através de método de Monte Carlo, para a faixa de turmas de atendimento para cada base definida na etapa de clusterização. O resultado obtido para cada base de atendimento é ilustrado através do gráfico da abaixo.

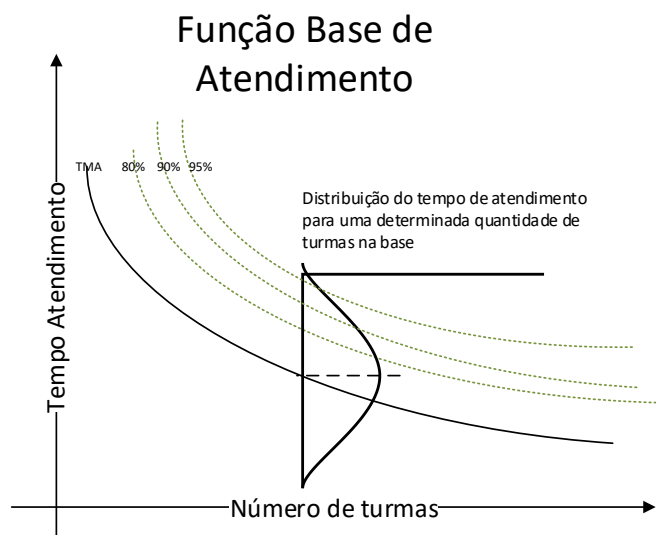


Fig. 4. Função do tempo de atendimento por número de turma, para determinada base de atendimento.

- Avaliação de Alternativas: nesta etapa dada uma configuração do número de bases e de turmas por base é possível o cálculo dos indicadores de

continuidade e de compensações regulatórias tendo por plataforma o Módulo Base SINAPgrid e a rede de distribuição referente ao polo de estudo.

- Otimização estocástica ou probabilística: nesta etapa o problema para a definição da quantidade de turmas por base de atendimento que maximiza função objetivo para um determinado nível de confiança (80%, 90% ou 95%) para os tempos de atendimento. A função objetivo utilizada levou em conta tanto variáveis ligadas à qualidade do serviço (END, DEC e Compensação regulatória) quanto ao custo total da turma de atendimento, obtido através de estatística de custos de atendimento do histórico de ocorrências calculada pelo Módulo de Gestão e Controle. Dada a característica combinatória do problema foi utilizado algoritmo genético para a busca de solução ótima.

2) Formação de bases de atendimento através de Método de agrupamento (Clusterização):

Nesta etapa para o polo e período de estudo obtém-se, com base em histórico de ocorrências e através do módulo de Gestão e Controle, por equipamento da rede de distribuição, discriminados conforme a Tabela I abaixo, o número total de eventos que demandaram turmas de atendimento e o total de clientes interrompidos (CLI).

TABELA I. EQUIPAMENTO ATUADO POR ABRANGÊNCIA	
Abrangência	Equipamento
A/C/S/U	Chave
I/O/P	Transformador MT/BT

Com a localização dos equipamentos atuados, através de algoritmo de agrupamento denominado k-médias e com um número de pré-determinado de bases de atendimento, obteve-se o centro dos agrupamentos, ponderadamente ao número de ocorrências por equipamento ou aos clientes interrompidos no período, com o objetivo de otimizar os tempos de deslocamento de forma ponderada a frequência e a criticidade dos pontos de atendimento.

3) Simulação discreta aplicada ao problema de atendimento de ocorrências

A simulação dos tempos de atendimento tem como objetivo estimar através de método de Monte Carlo aplicado em determinada área de simulação, representada por uma base determinada na etapa de clusterização, a distribuição dos tempos de atendimento.

O processo de geração e atendimento de uma incidência na rede de distribuição consiste em sorteio, com base na distribuição do tempo entre falhas, na definição da abrangência, conforme Tabela I acima, como base em distribuição das frequências, e no sorteio do tempo de conserto do defeito, com base na distribuição do tempo de reparo condicionado a abrangência da falha.

A representação do processo de atendimento tem ordem de chegada (FIFO) de ocorrências, sendo que o instante de início do atendimento da ocorrência é definido pela primeira turma do total de turmas de atendimento da base a estar disponível, ou não alocada, que é alocada ao evento. O tempo de deslocamento e localização é determinado através de sorteio utilizando a distribuição de probabilidade dos tempos

associada à dispersão espacial das incidências. A turma é desalocada e o tempo de atendimento é obtido da soma do tempo de preparo, ou de espera, entre início até a alocação, somados ao tempo de deslocamento, localização e reparo da incidência. Este valor amostrado é armazenado para as estimativas do tempo de atendimento médio, e tempos de atendimento limites para 80%, 90% e 95% de probabilidades acumuladas.

Este processo de amostragem, para a base de simulação pertencente ao polo de estudo, é repetido até que as estimativas do tempo médio de atendimento e de tempos limites estabilizassem.

Os parâmetros necessários, conforme a descrição do processo acima, à simulação discreta para cada base de atendimento são obtidos do histórico de ocorrências e são discriminados abaixo:

- Distribuição do Tempo entre incidência
- Probabilidade ou frequência de incidências por abrangência
- Distribuição do Tempo de Reparo da incidência condicionada a abrangência
- Distribuição do Tempo de deslocamento: considerando-se a distribuição espacial dos equipamentos atuados e a movimentação a partir do centro da base, ou do cluster através de método de agrupamento.
- Número de turmas de atendimento na base simulada

Para a determinação da distribuição do tempo de deslocamento considerou-se a distribuição espacial dos equipamentos atuados e a movimentação a partir do centro da base, ou do cluster, este obtido através de método de agrupamento descrito na etapa anterior. Desta forma foi possível a modelagem do efeito da alteração do número de bases de atendimento. Com o aumento do número de bases os tempos de deslocamento tendem a valores menores.

Os resultados da simulação, para a primeira base de clusterização em 4 agrupamentos, são ilustrados através do gráfico da Fig. 5 abaixo, onde para quantidades crescentes de turmas, de 1 a 5, os valores de tempo de atendimento médio (TMA) e tempos de atendimento limites para 80%, 90% e 95% dos casos foram estimados. Estes resultados serão utilizados posteriormente na avaliação de indicadores de continuidade de soluções alternativas de distribuição de turmas entre bases de atendimento.

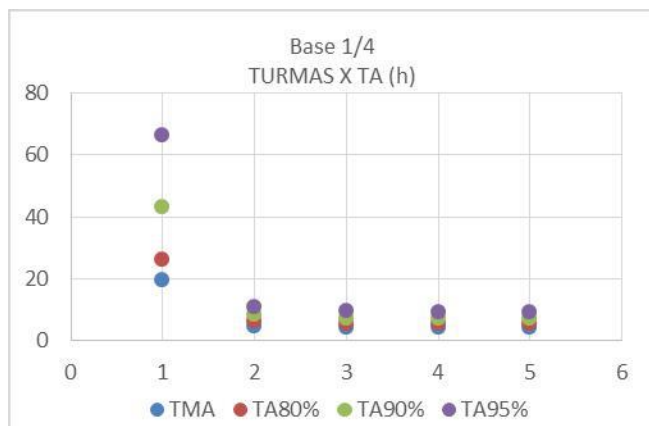


Fig. 5. Dispersão dos Tempos de Atendimento Simulados

4) Cálculo de indicadores de continuidade através de Algoritmo de Confiabilidade

A avaliação de cada alternativa de alocação de turmas por base de atendimento é realizada através de metodologia de cálculo de indicadores de continuidade a priori [8] implementada na plataforma SINAPgrid.

Esta metodologia leva em conta, para cada possibilidade de falha no circuito analisado, a máxima utilização das possibilidades automáticas ou telecomandadas nas operações de isolamento dos blocos de carga em falha, religamento de blocos a montante e transferência para circuitos vizinhos. As possibilidades de transferência de blocos de carga são determinadas em função das folgas de transferência por chaves NAs existentes por patamar horário ao longo do dia pré-avaliadas em função de cálculo do fluxo de potência na plataforma SINAPgrid. A Fig. 6 abaixo, ilustra o processo operativo modelado em que após a ocorrência de falta em um bloco de carga e a atuação do dispositivo de proteção RA-NF (religadora normalmente fechada) realiza-se automaticamente na plataforma SINAPgrid o isolamento do bloco em falha, através da abertura da chave NF a montante, e o religamento automático dos blocos de carga a montante do defeito, através do fechamento da chave RA que havia atuado. A seguir é realizada a tentativa de religamento dos blocos de carga a jusante em função de folga de transferência de carga pela chave RA-NA, religadora normalmente aberta, no patamar de ocorrência da falha. O último bloco da Fig. 6 ilustra as etapas 2 e 3, automática rápida (abertura de RA-NF e fechamento de RA-NA) e lenta (abertura de chave faca NF a montante do defeito e fechamento de RA-NF).

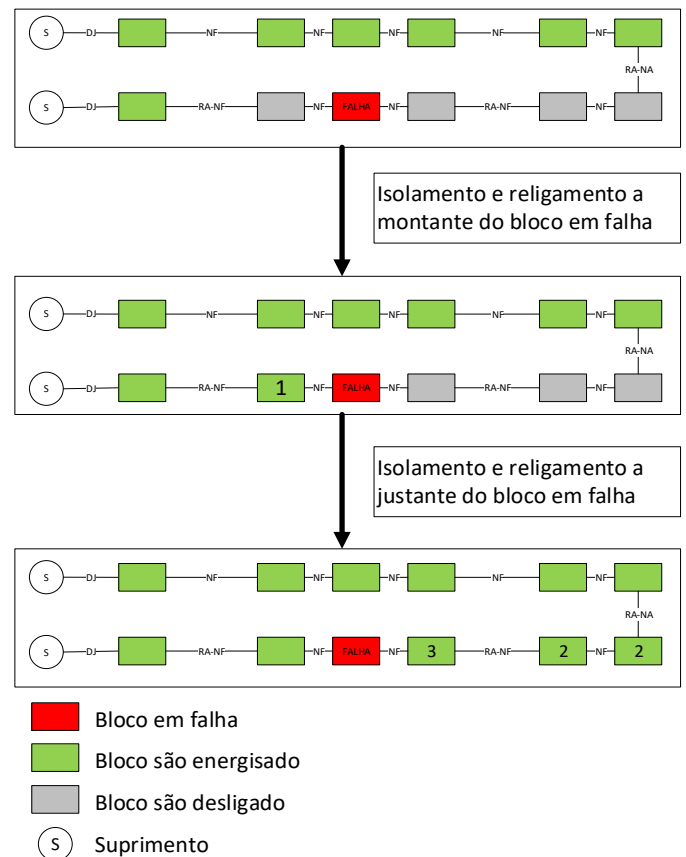


Fig. 6. Tratamento de falha em módulo de cálculo de indicadores de continuidade

O parâmetro básico necessário para o cálculo dos indicadores, representados por conjunto de taxas de falha e tempos de atendimento, função do histórico de ocorrências, foi obtido em função da localização dos equipamentos atuados na rede, da respectiva zona de proteção, do número de falhas e dos respectivos tempos de atendimento, resultando em parâmetros diferenciados na rede de distribuição, nos vários níveis de tensão.

A avaliação de alternativas de número de bases de atendimento e de turmas por base foi realizada com base no conjunto de parâmetro base, desta vez discriminado entre bases de atendimento, e o respectivo tempo de atendimento selecionado, resultante de simulação conforme ilustrado na Fig. 6 acima, para um número de turmas, para o tempo médio de atendimento ou para limites dos tempos de atendimento, para 80%, 90% ou 95% dos casos.

5) Problema de otimização estocástica e utilização de algoritmo genético para busca de solução

O problema de otimização tratado no presente trabalho consiste na definição, para o polo de estudo e para uma dada quantidade de agrupamentos, da distribuição de turmas por base que minimiza o custo total anual de atendimento das ocorrências.

Como mencionado na introdução do trabalho, trata-se de sistema com grande aleatoriedade. Este fato conduz a adoção de estratégias de minimização que levem em conta a aleatoriedade das variáveis envolvidas no problema. Este tipo de problema de otimização, quando alguns parâmetros do problema são considerados como variáveis aleatórias, é denominado probabilístico ou estocástico, conforme [9]. Dentre as várias estratégias adotadas para a resolução do problema de otimização descritas em [10]-[11], adotou-se abordagem “aqui e agora”, referente ao problema de produção e abolição de incertezas. Para tal as otimizações são realizadas para um limite julgado tolerável para as incertezas. No presente problema estes limites consistem nos valores de frequência acumuladas para 80%, 90% ou 95% para o tempo de atendimento para a alternativa do número de equipes por base de atendimento, conforme apresentado na metodologia de simulação, no item C anterior, deste capítulo. Pode-se, portanto, realizar dimensionamento robusto para uma parcela ou probabilidade dos casos. Dada a natureza combinatória do problema, adotou-se metaheurística algoritmo genético, descritos em [5], [8] e [12] para a busca de solução otimizada.

B. Estudo Piloto

O estudo de caso realizado como prova de conceito envolveu a otimização dos recursos operativos da área de concessão da Eletrobras Distribuição Acre. As redes utilizadas foram obtidas dos sistemas legados georreferenciados da concessionária. O ambiente de simulação, no estudo de caso, foi constituído pelo polo de estudo de Brasileia, que corresponde aos municípios de Assis Brasil, Xapuri, Brasília e Epitaciolândia e suas respectivas subestações (USASB, SEXAP, SUBRA e SUEPT). Na Fig. 7 é apresentada a rede de distribuição importada para a plataforma SINAPgrid, relativa ao estudo de caso.

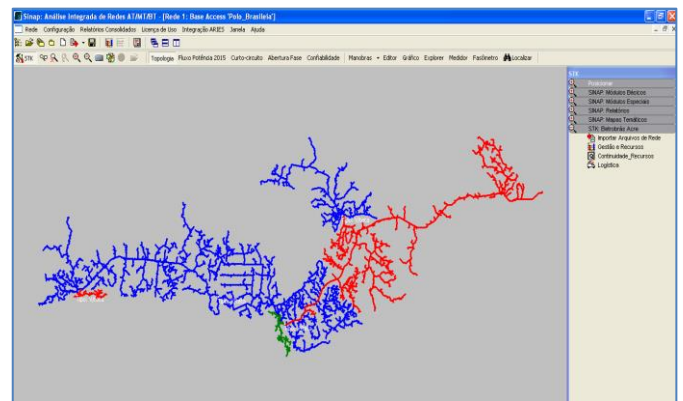


Fig. 7. Rede de distribuição elétrica do polo Brasileia

A primeira análise realizada contemplou a otimização dos recursos operativos para diferentes números de bases de atendimento. Observou-se nesta análise que a subdivisão do polo em bases de atendimento acarreta em melhorias no indicador de continuidade DEC e uma redução nos custos operativos, pois reduz os tempos de deslocamento, possibilitando que menos turmas atendam mais ocorrências. Contudo, o acréscimo indevido de bases pode levar a efeitos indesejados como a ociosidade de turmas e com isto, uma elevação dos custos. Isto pode ser observado na Fig. 8 onde se observam respectivamente a evolução dos indicadores de qualidade e a variação dos custos operativos em relação a variação do número de bases de atendimento.

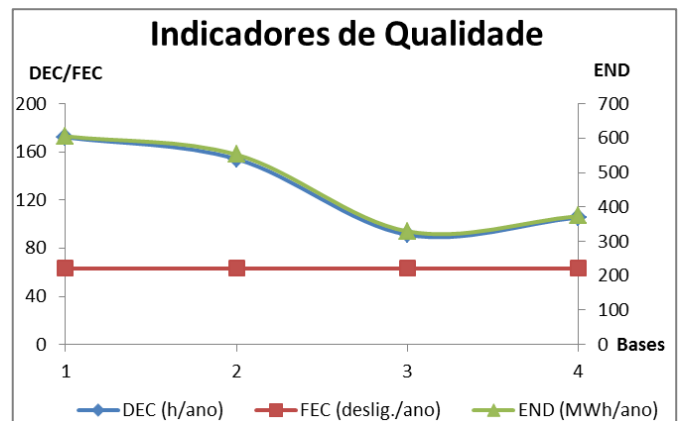


Fig. 8. Gráfico da variação de indicadores da qualidade do serviço.

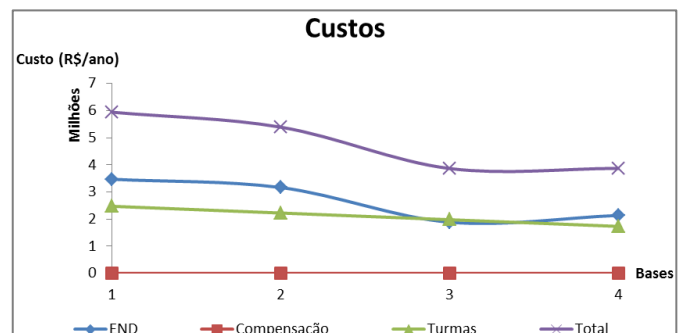


Fig. 9. Gráfico de custos com a variação do número de bases de atendimento.

A segunda análise realizada teve como propósito avaliar a melhoria do atendimento devido ao aumento do número de turmas de manutenção. O que se pode observar nesta análise foi o impacto positivo na redução dos tempos médios de atendimento, devido ao acréscimo do número de turmas. Entretanto, assim como o incremento de bases pode gerar

ociosidade, a adição de novas turmas também o faz. Na Fig. 10 observa-se a variação do tempo médio de atendimento das ocorrências, para em três bases distintas, devido ao acréscimo de equipes de manutenção.

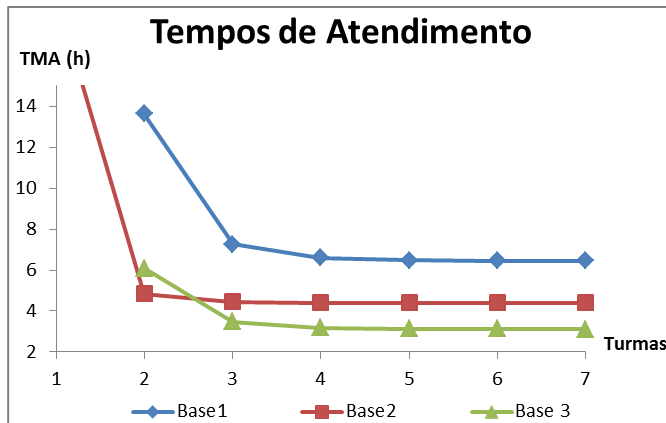


Fig. 10. Gráfico da variação do tempo de atendimento com a variação do número de turmas para 1, 2 e 3 bases de atendimento.

Por fim, foi testada a otimização dos recursos operativos. Para esse caso com algoritmo genético foram analisadas diversas configurações de turmas nas bases de atendimento obtendo-se para cada uma delas, através das simulações, os custos de atendimento e regulatório, além dos valores de DEC. Na Fig. 11, os custos de atendimento e regulatório de cada configuração de turma são associados ao seu respectivo DEC e representados por um ponto (azul e verde, respectivamente). Primeiramente, é possível verificar, como esperado, que a redução no DEC está associada com um aumento nos custos de atendimento (curva azul). Já para o custo regulatório (curva verde) verifica-se que a redução do DEC está associada a sua diminuição. A soma desses dois custos resulta em um custo total para cada configuração de turmas, assim, considerando os valores de DEC, apresentam-se no gráfico os custos totais para cada configuração (ponto vermelho). A partir da análise dessa curva deduz-se que mesmo com investimentos no atendimento, pode-se obter um custo total inferior com a otimização dos recursos realizada pela ferramenta computacional.

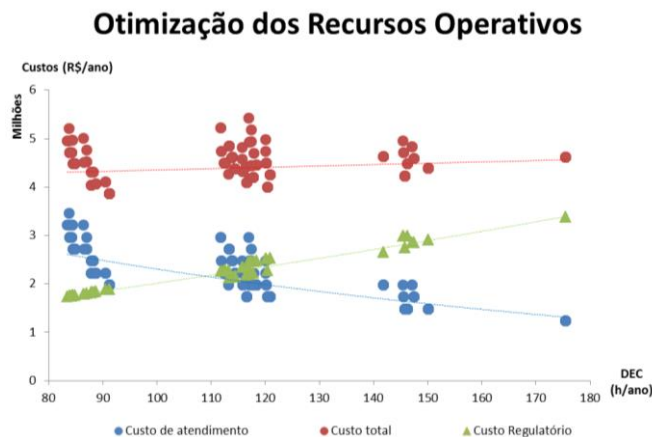


Fig. 11. Gráfico do custo de atendimento, custo regulatório e custo total com a variação do indicador de continuidade coletivo DEC(h/ano)

III. CONCLUSÕES

O artigo apresentou metodologia e ferramenta computacional desenvolvidas para o dimensionamento ótimo

de turmas de atendimento, considerando-se os seus aspectos estocásticos para redes de distribuição reais, com grande número de barras, e a determinação explícita a posteriori dos indicadores de continuidade.

Os resultados obtidos confirmaram a viabilidade do método e a possibilidade de utilizá-lo no planejamento operacional das turmas de atendimento visando a melhoria de indicadores de qualidade regionais ou sua contribuição para os índices totais da distribuidora de forma economicamente viável.

Dada a consideração explícita da topologia e da distribuição de cargas da rede de distribuição elétrica na modelagem apresentada, este trabalho possibilitaria uma extensão, contemplando a implantação de self-healing, para o tratamento de falhas em redes de distribuição brasileiras e do impacto do mesmo no dimensionamento das turmas de atendimento.

IV. REFERÊNCIAS

- [1] Salhi, S. Defining tabu list size and aspiration criterion within tabu search methods. *Computers and Operations Research*, 2002.
- [2] Fontana, H. Logística Operacional – Alocação de bases operacionais em distribuição de energia elétrica. Dissertação de Mestrado, USP, 2015.
- [3] Comitê de Distribuição Eletrobras, “Coleção Distribuição de Energia Elétrica, Manutenção e Operação de Sistemas de Distribuição,” Vol. 4, Editora Campus, 1982
- [4] A. G. N. Novaes. “Sistemas Logísticos: transportes, armazenagem e distribuição física de produtos.” E. Blucher, 1989.
- [5] N. Kagan. “Configuração de Redes de Distribuição através de Algoritmos Genéticos e Tomada de decisão Fuzzy.” São Paulo: Tese de Livre Docência, EPUSP, 1999.
- [6] E. Bobel, H. S. Lopes. “Inteligência computacional aplicada à logística de equipes de manutenção de redes de distribuição de energia elétrica.” Espaço e Energia número, v. 79, 2007.
- [7] E. Bobel. “Dimensionamento e locação de equipes de manutenção em redes de distribuição de energia elétrica.” 2003. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, CEFET, Curitiba, PR.
- [8] N. Kagan, C. C. B. Oliveira, E. J. Robba. “Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Edgard Blücher,” 2005.
- [9] N. Kagan, H. P. Schmidt, C. C. B. Oliveira, H. Kagan. “Métodos de otimização aplicados a sistemas elétricos de potência.” Blucher, São Paulo, 2009.
- [10] H. J. Bortolossi, B. K. Pagnoncelli. “Uma introdução à Otimização sob Incerteza,” III Biental da Sociedade Brasileira de Matemática, 2006.
- [11] B. K. Pagnoncelli. “Otimização Estocástica e Aplicações,” Notas de Aula, Departamento de Matemática – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006.
- [12] D. E. Goldberg. “Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning,” Addison-Wesley, 1989.
- [13] R. Billinton, R. N. Allan. “Reliability evaluation of engineering systems.” New York: Plenum press, 1992.
- [14] G. Celli, S. Mocci, F. Pilo, R. Cicoria. “Probabilistic optimization of MV distribution network in presence of distributed generation.” In: Proc. PSCC Conf. 2002. p. 24-28.
- [15] M. A. B. Magro. “Dimensionamento de equipes baseado em modelos de previsão, simulação e alocação: caso de uma empresa do setor elétrico.” 2003.
- [16] R. Billinton, W. Li. “Reliability assessment of electric power systems using Monte Carlo methods.” Springer Science & Business Media, 2013.