

Análise da Criticidade de Obras em Redes de Distribuição de Energia Elétrica Baseadas no Método *Analytic Hierarchy Process*

Paulo Ricardo Pereira*, Rodrigo Marques de Figueiredo**, Ana Paula Mallmann*, Lúcio Renê Prade*, Diogo Slovinski Boff****, Lucas Melo de Chiara****, Márcio Rosa da Silva**

* Escola Politécnica, Universidade do Vale do Rio do Sinos,
Brasil, (e-mail: ppereira@unisin.br, apmallmann@unisin.br, luciorp@unisin.br).
** Programa de Pós-Grauação em Engenharia Elétrica, Universidade do Vale do Rio do Sinos,
Brasil, (e-mail: marquesf@unisin.br, marcior@unisin.br).

**** CPFL Energia,
Brasil, (e-mail: dslovinskiboff@cpfl.com.br, lucaschiara@cpfl.com.br).

Abstract: *This paper aims to present a study whose objective is to optimize the decision-making process to perform works in distribution networks which involves the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, applied as a tool to assist decision making in common use. Initially, it was performed a review of the method, addressing historical issues, applicability, restrictions and advantages of its use. Then we searched through recent publications to identify and characterize the application of the method to aid in troubleshooting. After explaining the method develop a specific case study, where the objective is to determine the prioritization of maintenance in feed in a distribution network. This case study aimed to evaluate the practical application of the method. The results obtained are demonstrated and analysed, both based on the results obtained and in the theoretical review. The gains in terms of the process with standardization of selection of alternatives, maintain consistency and homogeneity for the use of resources to reduce CHI, what eliminates dependence based only on the experience of the project involved in the project.*

Resumo: Este artigo tem o objetivo de apresentar um estudo cujo propósito é otimizar o processo de tomada de decisões para execução de obras em redes de distribuição que envolve o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) aplicado como ferramenta de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. Inicialmente realizou-se uma revisão do método, abordando questões históricas, aplicabilidade, restrições e vantagens de seu uso. Em seguida buscou-se através de publicações recentes identificar e caracterizar a aplicação do método para o auxílio à solução de problemas. Após a explanação do método, desenvolveu-se um estudo de caso específico, onde o objetivo é determinar a priorização de manutenção em alimentadores em uma rede de distribuição. Este estudo de caso teve como objetivo avaliar de forma prática a aplicação do método. Por fim são demonstrados os resultados obtidos e realizadas considerações finais baseadas tanto nos resultados obtidos como na revisão teórica. Os ganhos, em termos de processo com a padronização da verificação de alternativas permitem manter consistência e homogeneidade para uso recursos para redução do CHI, o que elimina a dependência com base apenas da experiência do projetista envolvido em um projeto.

Keywords: *Decision-making aid, Multiple Criteria, Analytic Hierarchy Process Method, Power Electricity Distribution Networks, Critical Works.*

Palavras-chaves: *Auxílio à tomada de decisão, múltiplos critérios, Método Analytic Hierarchy Process, Redes de Distribuição de Energia Elétrica, Criticidade de Obras.*

1. INTRODUÇÃO

Com a atual conjuntura econômica da maioria das empresas de distribuição é essencial a correta tomada de decisão para a destinação dos recursos disponíveis para a operação e a manutenção da rede. A tomada de decisões em obras objetivam manter a qualidade da energia entregue, a continuidade do serviço prestado e evitar multas e desvalorização da imagem das empresas.

Ferramentas de análise financeira tais como *payback* e relação de custo e benefício, acrescidas das características técnicas formam um complexo cenário de fatores que devem ser considerados para a análise de tomada de decisão. Para que se tenha a mais correta aplicação possível dos recursos técnicos e financeiros neste campo, o uso de métodos de múltiplos critérios ganha relevância.

Dentre os principais métodos utilizados como auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios, destaca-se o método de *Analytic Hierarchy Process* (AHP), um método

comparativo, que consiste basicamente na decomposição de um problema complexo em diversos fatores menores. Esses fatores são organizados de acordo com sua hierarquia, de modo que seja possível explorar e analisar separadamente e mais profundamente cada fator do problema principal, tal qual relativizar a importância dos fatores entre si para o resultado do problema fundamental.

Cada uma das características do método será melhor aprofundada na seção 2, onde também será abordado um breve histórico, exemplificações e instruções gerais de aplicação do método AHP. Na seção 3, será abordada a Aplicabilidade do Método em trabalhos correlato, serão demonstrados e analisados brevemente os trabalhos correlacionados a este estudo que se desenvolveu. Já na seção 4 é apresentada a utilização do método, através do desenvolvimento de um estudo de caso relacionado com a priorização de obras em alimentadores da rede de distribuição. Na seção 5 os resultados obtidos na seção anterior serão explicados e discutidos de forma comparativa, buscando um entendimento melhor do cenário. Finalizando na seção 6 serão relacionadas algumas considerações finais sobre o desenvolvimento do estudo.

2. MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

O método AHP foi elaborado pelo matemático norte-americano Thomas L. Saaty na década de 1970. Trata-se de um método de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios que, como tal, tem por finalidade auxiliar a solução de problemas com elevados graus de complexidade através da utilização de diversos critérios de naturezas distintas, de modo possibilitar a sua comparação e, assim, chegar a um resultado satisfatório.

Nesse sentido, na tomada de decisões de maior complexidade deve-se priorizar uma abordagem abrangente que considere todas as variáveis envolvidas no problema, utilizando de fatores múltiplos e considerando-os de forma concomitante e estratégica, gerando melhores resultado em todos os aspectos de interesse.

Para aplicação do método a primeira etapa é a estruturação do problema. Segundo Saaty (2009), esta etapa é talvez a mais criativa pois deve-se escolher quais fatores são e quais não são importantes para a decisão. Na estruturação, constrói-se o problema de forma hierárquica, com o objetivo colocado no topo, e nos demais níveis de forma decrescente critérios, subcritérios e alternativas. A Figura 1 apresenta a estrutura genérica de um problema AHP.

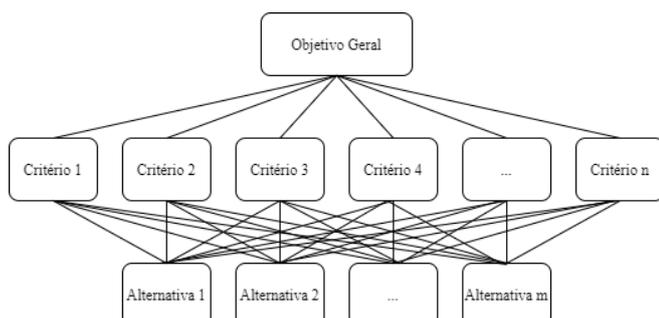


Figura 1 - Estrutura hierárquica genérica AHP. Fonte: adaptado de Saaty (2009).

É necessário considerar os critérios e alternativas em sua totalidade, tanto quanto possível, considerando o entorno do problema e os atributos que possam ajudar a sua solução. Os critérios e subcritérios devem ser organizados hierarquicamente de forma que critérios globais fiquem mais próximos do topo do que critérios específicos. Em seguida, deve-se realizar uma normalização em cada camada, para que os critérios estejam todos em uma mesma escala. Esta normalização é necessária para possibilitar a comparação direta entre estes critérios de uma mesma camada, o que ocorre no próximo passo.

A etapa de comparação tem por objetivo elencar prioritariamente os argumentos de um mesmo nível. Para isto, é utilizado um sistema de comparação baseado em métodos especialistas. As comparações são paritárias, realizadas entre todos os elementos de um mesmo nível, tendo como critérios de priorização os elementos do nível imediatamente superior. São utilizadas as intensidades de importância elucidadas na Tabela 1. A intensidade aplicada a cada par comparativo é estimada de acordo com a opinião especialista.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Adaptado de Saaty (2009).

Intensidade Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito grande ou Demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando de procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

No método AHP, as comparações entre os critérios são realizadas através da atribuição de valores que variam de 1 a 9, conforme estabelecido na Tabela 1, onde o valor determinado representa a significância de um critério em relação ao outro. Assim, cada julgamento representa a dominância do elemento da linha em relação ao elemento da coluna. De modo que se o elemento A_i , da linha, seja igualmente importante ao elemento A_j , da coluna, o valor A_{ij} atribuído a esse par deve ser 1. Consequentemente, se A_i for mais importante do que o elemento A_j , algum valor de 2 a 9 deverá ser escolhido, e se for menos importante que A_j , um

número inverso aos valores 2 a 9 deverá ser escolhido, como por exemplo, 1/2, 1/3, 1/4, etc.

Após finalizadas as comparações dos elementos dentro de um mesmo nível, atribuindo as importâncias para cada um, passa-se para o nível seguinte, realizando a análise análoga a anterior. Finalizada a comparação paritária entre todos os critérios, organiza-se os resultados obtidos em matrizes de avaliação, conforme apresenta a Figura 2.

$$\begin{array}{c|ccc}
 C & A_1 & A_2 & A_n \\
 \hline
 A_1 & \left[\begin{array}{ccc} 1 & x & \dots & y \end{array} \right. \\
 A_2 & \left. \begin{array}{ccc} 1/x & 1 & \dots & z \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/y & 1/z & \dots & 1 \end{array} \right] \\
 A_n & & &
 \end{array}$$

Figura 2 – Matriz-exemplo de comparações paritárias.

A matriz de decisão apresentada na Figura 2 contém todas as intensidades comparativas entre os critérios. Na sequência, para que os julgamentos sejam considerados coerentes, é necessário calcular o índice de coerência e a razão de coerência, segundo dados sugeridos por Saaty (2009). O resultado da consistência RC (1) é determinado através da divisão do índice de consistência - ci (2), pelo índice ri .

$$RC = \frac{ci}{ri} \quad (1)$$

$$ci = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Sendo ri é um índice tabelado em função de n (dimensão da matriz), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Valores de ri para matrizes quadradas de ordem n , segundo Saaty 2009.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ri	0,00	0,50	0,90	1,10	1,20	1,30	1,40	1,40	1,51

onde ci é o índice de consistência da matriz, ri é o índice de consistência aleatório, λ_{\max} é o valor principal de Eigen e n é o número de critérios avaliados. O λ_{\max} é a média dos autovalores λ_i da matriz de julgamentos, e os critérios da mesma e os pesos dos critérios. A Equação 3 apresenta o cálculo do autovalor λ_i .

$$\lambda_i = \frac{\text{linha da matriz} \times \text{coluna vetor prioridade}}{\text{elemento vetor prioridade correspondente a linha da matriz}} \quad (3)$$

Com base nestas premissas uma sequência de passos pode ser estabelecida para que seja seguida. Essa sequência é apresentada a seguir.

2.2 Resumo das Etapas do Método AHP

Nesta seção é apresentado o passo-a-passo para a execução do Método AHP:

Passo 1: Definir o problema e o que se procura saber, identificar partes envolvidas, checar como estas definem o problema e suas formas de participação no AHP.

Passo 2: Decompor o problema desestruturado em hierarquias sistemáticas, do topo (objetivo geral) para o último nível (fatores mais específicos, usualmente as alternativas). É importante certificar-se de que os níveis estejam consistentes internamente e completos, e também que as relações entre os níveis estejam claras.

Passo 3: Construir uma matriz de comparação paritária entre os elementos do nível inferior e os do nível imediatamente acima.

Passo 4: Fazer os julgamentos para completar as matrizes. O analista ou grupo participante julga se A domina o elemento B. Se afirmativo, inserir o número na célula da linha de A com a coluna de B. A posição coluna A com linha B terá o valor recíproco. Assim prossegue-se o preenchimento da matriz

Passo 5: Calcular o índice de consistência ou *Consistency Index* (IC). Se não for satisfatório, refazer julgamentos.

Esses passos são realizados sempre que se quer aplicar o Método AHP. Isso pode ser visto nos trabalhos correlatos que são expostos no próximo capítulo.

3. A APLICAÇÃO DO AHP EM TRABALHOS CORRELATOS

Nesta seção buscou-se relacionar trabalhos atuais que fazem o uso do método AHP para auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios na área de engenharia e com isso identificar novas possibilidades de aplicações e também discutir o estado da arte destas aplicações.

O trabalho de Luo (2009), trata da gestão eficaz de crédito de energia usando o método estudado. Prever o nível de crédito dos consumidores de energia com antecedência é uma premissa importante da implementação de um sistema eficaz. Com o intuito de estabelecer o sistema de índice de avaliação de crédito, este artigo classifica um grande número de consumidores de energia de forma rápida e objetiva de acordo com suas amostras de dados de índice pré-processados. O peso de cada índice é calculado de maneira flexível com o método de AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Este artigo também fornece uma análise do exemplo de cálculo e o resultado, nos quais mostra que o método usado é rápido, preciso e eficaz. Já no trabalho Liu (2010) é desenvolvido uma proposta de pós-avaliação do projeto de construção de geradores energia eólica para melhorar a tomada de decisões de projeto. Este trabalho baseia-se no sistema de gestão com base no estudo de pós-projeto, o qual é apropriado para as características de projetos de energia eólica, descreve indicadores, métodos e critérios de avaliação deste sistema em detalhes, aplicando o método AHP.

No trabalho de Alhamrouni (2015) é apresentado um modelo matemático para otimizar a aplicação dos métodos

multicritério de tomada de decisão para manutenção em linha de energia. O modelo utilizado neste trabalho foi formulado a partir do método AHP, e utilizado para analisar os fatores mais eficazes no desempenho da linha.

No trabalho de Lazzerini (2015) é apresentada uma nova abordagem para lidar com o problema do despacho econômico em redes inteligentes, tratando o problema como problema multicritério para tomada de decisões, cujas alternativas de decisão são geradas dinamicamente. Quatro objetivos são considerados: as emissões, o custo da energia, a distância do abastecimento e balanceamento de carga. Os objetivos são preliminarmente classificados através de uma versão difusa do AHP, e a seguir classificados em duas categorias de importância. Essas classificações geram um problema de programação linear. A eficácia da abordagem é validada por comparação com outros métodos.

No trabalho Kittur (2015) propõe-se diferentes métodos para avaliar a geração ótima para sistemas de geração mistos compostos por geração eólica, solar e térmica, de um dia em particular. Os métodos considerados são o método SAW o método, WP e o método AHP, todos técnicas de multicritério de tomada de decisão. Os resultados obtidos pela avaliação multicritério usando os métodos apresentados dá a possibilidade de identificação e avaliação da geração ótima num dia particular e realizar uma análise das particularidades de cada método.

Já no trabalho Xu (2014) é proposto um modelo baseado na técnica AHP e Fuzzy para identificar qual a melhor técnica de comunicação para a coleta de dados em um sistema elétrico inteligente. Com esta seção pode-se verificar algumas aplicações reais do método AHP na atualidade, além de que em muitos casos a utilização de mais de uma técnica é aplicada para tornar o modelo mais próximo da solução ideal.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA IDENTIFICAÇÃO DA CRITICIDADE DAS OBRAS

Nesta seção será demonstrado a aplicação do método AHP, em conjunto com a construção de uma base de dados de obras complementares para a redução do indicador de impacto CHI, com um índice especificado pela empresa de distribuição. O fluxo da Figura 3 apresenta as etapas percorridas por um projeto de manutenção ou ampliação em uma rede de distribuição da concessionária. Na etapa de otimização destacada, foco deste estudo baseado na análise multicritério, pretende-se determinar a criticidade de obras auxiliares e o impacto delas na redução do índice CHI durante a execução de um projeto de manutenção na rede.

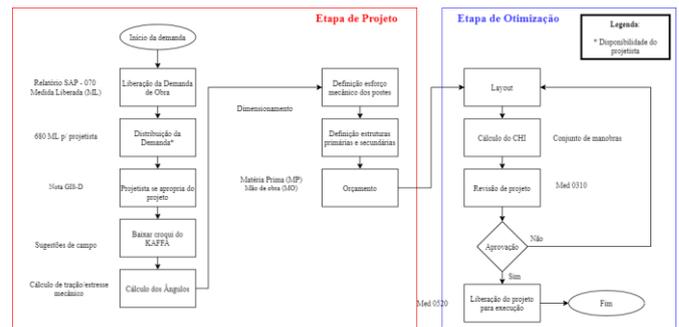


Figura 3 – Fluxo de projeto manual executado pela concessionária.

Na etapa de otimização é avaliado o tempo de desligamento e quantidade de consumidores interrompidos, a partir de uma proposta inicial de desligamento realizada pelo projetista no item *layout*. Essa proposta inicial terá um valor de CHI calculado, através da multiplicação do total de consumidores com fornecimento de energia interrompido pelo tempo de duração de cada interrupção ocorrida durante a execução da obra. Havendo possibilidade de redução do indicador, é realizada uma revisão do projeto, que gera um novo *layout*, permanecendo nesse ciclo até sua aprovação definitiva, quando será liberado para execução. Porém deve-se avaliar o custo dessas obras adicionais, além da verificação da disponibilidade de recurso e do centro de custo ao qual a obra será vinculada.

A etapa de otimização sob a ótica do projetista, quando realizada de forma manual, exige uma análise mais apurada da região no entorno da obra e também de muita experiência prévia do projetista. Na primeira análise, calcula-se o indicador considerando a realização direta da abertura do dispositivo de manobra, que estabelece as condições iniciais para o CHI.

A partir desse primeiro *layout*, será verificada a existência de dispositivos de manobra que permitiriam condições de transferência de cargas ou trechos de redes próximos que possibilitariam a conexão de uma parte da rede. Isto se dá através de um *bigjumper* (um equipamento que permite realizar manutenções preventivas em obras de melhoria na rede elétrica sem interromper o fornecimento de energia, por meio de uma interligação em ponte), por exemplo. Ou ainda por redes de baixa tensão próximas, que apresentem condições de atender parte da carga dos transformadores que deveriam ser desenergizados, mas que não fariam parte da obra principal.

A existência de clientes prioritários ou trechos específicos da rede que pudessem ou necessitassem da utilização de gerador também devem ser verificadas nessa etapa. Após selecionadas as opções possíveis, é proposto um novo *layout* e realizado um novo cálculo do CHI, que deverá ser menor do que a condição inicial, porém deve-se avaliar os custos dessa solução, o tipo de manobra que deverá ser realizada (manual ou telecomandada), além da necessidade de equipes adicionais para realização das ações.

Em uma terceira avaliação, verifica-se a existência de alimentadores ou trechos de redes adjacentes ao local da obra com potencial para execução de pequenas obras complementares. Essas obras serviriam para realizar interligações entre os trechos de rede desenergizados na proposta inicial, mas que, por não fazerem parte do trecho de execução da obra, poderiam manter seu fornecimento de energia. Dessa forma outras redes de MT ou BT poderiam suprir esses consumidores durante o período de desligamento.

No caso dos potenciais trechos de interligação é calculado o indicador CHI e verificada a redução deste quando comparado com a proposta inicial e com a proposta de realização de manobras. Após avalia-se os requisitos da obra adicional (anteprojeto, orçamento e tempo de desligamento) e compara-se o ganho obtido em relação aos custos adicionais. Havendo viabilidade das obras adicionais, realiza-se a revisão do projeto incluindo as novas obras. Porém existe uma série de interações entre os diferentes setores envolvidos, além da avaliação dos recursos disponíveis para realização das obras. Caso já existam em algum plano de obras, avalia-se a possibilidade de antecipação para execução em conjunto com o projeto em análise. Um ponto importante a ser considerado para obras adicionais é sua viabilidade no contexto de operação da rede. Se ela se justifica em termos de confiabilidade/continuidade do fornecimento, possibilitando manobras em outras condições fora do contexto do projeto entende-se que haverá um maior potencial de aprovação. Assim, definiu-se como problema alvo (passo 1 do método AHP) identificar quais obras auxiliares seriam as mais adequadas para a redução do índice CHI.

De posse do conhecimento especializado de projetistas experientes e das normas internas da concessionária (cada concessionária possui um conjunto de regras internas que devem ser modeladas em acordo com seus especialistas) executou-se um processo de decomposição do problema em hierarquias sistemáticas, partindo do objetivo geral para o último nível onde foram identificadas as alternativas de obras auxiliares disponíveis, sendo o resultado apresentado na Tabela 3. Esse é o resultado do passo 2 proposto pelo método AHP, sendo um dos mais críticos pois necessita da avaliação qualitativa de especialistas. Uma imprecisão nesta etapa pode gerar resultados ineficientes. Nesta etapa, também, tem-se como resultado uma padronização de obras auxiliares e a definição dos critérios para que possam ser utilizadas em toda a concessionária de forma homogênea. Essa homogeneização é um verdadeiro ganho para a concessionária, pois garante a consistência de seus processos pelo aumento da previsibilidade dos critérios modelados.

Tabela 3 – Obras auxiliares possíveis para a melhoria do CHI

1	Telecomando
2	Manobras Chave Fusível
3	Manobras Seccionadora
4	Instalação de chave Fusível
5	Instalação de chave Seccionadora
6	Construção Rede Complementar

7	Bigjumper
8	Gerador

Como passo três proposto pelo método AHP, deve-se construir a matriz de comparação das alternativas a fim de determinar o custo de cada uma delas em relação as demais. A Tabela 4 apresenta a matriz de comparação paritária para o modelo desenvolvido.

Tabela 4 – Tabela de comparação paritária desenvolvida para o modelo proposto.

Critérios	1	2	3	4	5	6	7	8
	Telecomando	Manobras Chave Fusível	Manobras Seccionadora	Instalação de chave Fusível	Instalação de chave Seccionadora	Construção Rede Complementar	Bigjumper	Gerador
1 Telecomando	1	1/3	1/3	1/7	1/5	1/9	1/3	1/5
2 Manobras Chave Fusível	3	1	1	1/5	1/3	1/7	1/3	1/4
3 Manobras Seccionadora	3	1	1	1/3	1/2	1/7	1/3	1/4
4 Instalação de chave Fusível	7	5	3	1	2	1/5	1/2	1
5 Instalação de chave Seccionadora	5	3	2	1/2	1	1/5	1	1/2
6 Construção Rede Complementar	9	7	7	5	5	1	5	3
7 Bigjumper	3	3	3	2	1	1/5	1	1/2
8 Gerador	5	4	4	1	2	1/3	2	1

No passo 4 proposto pelo método AHP, é necessário mais uma vez a análise qualitativa e quantitativa por especialistas de dominâncias das opções da matriz, ou seja, realizar a revisão da matriz de paridade. Esse passo é fundamental para o refinamento do modelo.

Por fim, pode-se calcular o índice de consistência para o modelo desenvolvido para aquela obra específica. Se necessário deve-se fazer ajustes retirando e inserido possibilidades na matriz de paridade conforme a limitação do projeto principal que se deseja otimizar. Para o modelo completo desenvolvido como base onde todas as obras auxiliares estão disponíveis, e os devidos pesos apresentados na Tabela 3, o índice de consistência calculado usando as equações (1) e (2), foi de 6,13% o que indica que o modelo completo é consistente.

5. RESULTADOS

Apresentou-se de forma breve um modelo para a análise de criticidade da implementação de obras auxiliares e o seu impacto na redução do índice CHI. Verifica-se ganhos em termos de processo com a padronização da verificação de alternativas e recursos para redução do CHI, visto que a aplicação da metodologia atual tem grande dependência apenas da experiência do projetista envolvido naquele projeto específico. Salienta-se a dificuldade de execução desse processo de forma manual devido a série de análises envolvidas e a dificuldade em manter o processo uniforme, visto que as avaliações são realizadas com base nas

percepções de cada projetista. Desse modo, a experiência do projetista é fundamental para obter melhores resultados em termos do indicador. A rotatividade dos projetistas também impacta diretamente na qualidade dessas avaliações. Assim, um ganho deste modelo é essa padronização tão necessária para a escolha das obras auxiliares.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou que a utilização de técnicas clássicas de auxílio à tomada de decisões de múltiplos critérios aliadas ao conhecimento dos especialistas presentes dentro das instituições estão se tornando mais comuns nas mais diversas atividades, em especial na área de distribuições de energia elétrica. Aliando essas duas ferramentas, consegue-se equalizar e nivelar os critérios de tomadas de decisões tornando-os mais claros e homogêneos dentro de toda a organização. Para a extração do critério são utilizados como fonte os projetistas com maior experiência e, dessa forma, é trazida, para o processo e para todos os utilizadores do sistema baseado no Método AHP, a experiência modelada em forma de critérios claros e aplicáveis.

Segundo Saaty, e como pode-se comprovar durante o desenvolvimento deste estudo, o benefício do método AHP dá-se devido aos valores dos julgamentos das comparações paritárias serem baseados em experiência, intuição e, também, em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão. São envolvidas comparações redundantes para melhorar a validade destas. Assim, a aplicação do AHP inclui e mede todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis, para aproximar-se de um modelo realista.

Uma das limitações do método é a sua aplicação inadequada, isto é, em ambientes desfavoráveis onde a aplicação é percebida como simplificação excessiva.

Como já mencionado um ponto positivo são as redundâncias nas comparações paritárias do AHP permitem checar a inconsistência e minimizar os erros da tomada de decisão. Sua aplicação na seleção de projetos permite que os tomadores de decisão tenham uma ferramenta específica e matemática de apoio à decisão. Essa ferramenta suporta e qualifica as decisões, além de permitir que os tomadores de decisão justifiquem suas escolhas e simulem os resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da CPFL Energia pelo projeto “Metodologia de Planejamento de Projetos de Redes de Distribuição Otimizando o DEC Programado com a Aplicação de Inteligência Artificial” (PD-00396-3057/2019, desenvolvido no âmbito do programa de P&D/ANEEL).

REFERÊNCIAS

Saaty, T.L. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions' in a Complex World. 2nd ed. Pittsburgh, Pa.: University of Pittsburgh, 1990

Kagan, Nelson. “Métodos de otimização aplicados a sistemas elétricos”. São Paulo. Edgard Blucher Ltda, 2009.

D. A. Moreira, Pesquisa Operacional - Curso Introductório, 2ª edição, São Paulo: Cengage Learning, 2010.

.G. Luo, Y. Zhang and R. Wei, "Study on Credit Evaluation of Power Consumer Based on the Clustering Analysis and AHP Method," *2009 First International Conference on Information Science and Engineering*, Nanjing, 2009, pp. 5142-5145.

doi: 10.1109/ICISE.2009.1110
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5455478&isnumber=5454428>

C. Liu, D. Chen and Y. Feng, "Post-Evaluating of Wind Power Project Based On AHP Model," *2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, Chengdu, 2010, pp. 1-4.
doi: 10.1109/APPEEC.2010.5448709

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5448709&isnumber=5448125>

I. Alhamrouni, A. B. Khairuddin, M. Salem and B. Ismail, "Analytical hierarchy process for scheduling the priorities of the environmental factors in transmission lines maintenance," *2015 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, Johor Bahru, 2015, pp. 436-441.
doi: 10.1109/CENCON.2015.7409584

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7409584&isnumber=7409498>

B. Lazzerini and F. Pistolesi, "A linear programming-driven MCDM approach for multi-objective economic dispatch in smart grids," *SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys)*, 2015, London, 2015, pp. 475-484.
doi: 10.1109/IntelliSys.2015.7361183
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7361183&isnumber=7361074>

J. Kittur *et al.*, "Evaluating optimal generation using different multi-criteria decision making methods," *Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, *2015 International Conference on*, Nagercoil, 2015, pp. 1-5.
doi: 10.1109/ICCPCT.2015.7159365
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7159365&isnumber=7159156>

D. Xu, Y. Dong, X. Zhong and C. Gao, "Communication technology evaluation in the power system," *Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)*, *2014 Fifth International Conference on*, Dalian, 2014, pp. 63-67.
doi: 10.1109/ICICIP.2014.7010315
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7010315&isnumber=7010262>