



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA
CLASSIFICAÇÃO DE ATIVOS DO SETOR ELÉTRICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

POR

LUIZ ALBERTO FREIRE WOLMER FILHO

Orientador: Adiel Teixeira de Almeida

RECIFE, AGOSTO/2010

W865m Wolmer Filho, Luiz Alberto Freire

Modelo de decisão multicritério para classificação de ativos do setor elétrico / Luiz Alberto Freire Wolmer Filho. – Recife: O Autor, 2010.

vii, 31 f.; il., figs., tabs.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Curso de Engenharia de Produção, 2010.

Inclui Referências Bibliográficas.

1. Engenharia de Produção. 2. Apoio Multicritério à Decisão. 3. Gestão de Ativos. 4. Setor Elétrico. 5. ELECTRE TRI. I. Título.

UFPE

658.5

BCTG/2010-148

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Luiz Alberto Freire Wolmer (*in memorian*), por ser a fonte de inspiração que me guia durante toda a minha caminhada.

À minha mãe Maria Gorete Maia Wolmer, pelo amor incondicional e pela simplicidade que me faz sempre querer ser uma pessoa melhor.

À minha irmã Patrícia, com quem sempre poderei contar durante minha vida.

À minha namorada Raquel Bastos, quem muito me apoiou e incentivou durante a realização deste trabalho.

Ao meu amigo Pedro Lins, pela amizade e suporte dados durante todo meu percurso na faculdade.

Aos meus amigos da faculdade que fizeram com que esta etapa da minha vida fosse muito mais uma diversão que uma obrigação.

Ao meu orientador, Adiel Teixeira de Almeida, pelo apoio durante a iniciação científica e neste trabalho, que me proporcionou grande desenvolvimento na vida profissional e ensinamentos que levarei pelo resto da vida.

Ao engenheiro da CHESF, Heldemárcio Ferreira Leite, que mesmo ocupado com outros afazeres, disponibilizou-se a ajudar-me, sendo o especialista sem o qual este trabalho não teria a mesma aplicabilidade.

RESUMO

O setor elétrico passou por intensas mudanças estruturais nas últimas duas décadas. Dentre tais mudanças, a privatização e a criação de agências reguladoras exigem uma nova forma, mais eficiente, de gestão. Um dos processos que podem auxiliar a melhoria da gestão dos ativos do setor elétrico é o correto direcionamento de recursos. Este trabalho tem como objetivo propor um modelo de apoio à decisão multicritério que classifique os ativos em diferentes graus de prioridade, facilitando as escolhas do decisor quanto ao direcionamento de recursos. O método escolhido para a problemática de classificação foi o ELECTRE TRI e o modelo foi desenvolvido com o auxílio de um especialista da etapa de distribuição do setor elétrico. Ao final do trabalho, há uma aplicação com dados realísticos do modelo com o objetivo de testar seu funcionamento.

Palavras-chave: Apoio multicritério à decisão, Gestão de Ativos, Setor Elétrico, ELECTRE TRI.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Metodologia	2
1.4 Organização do Trabalho	2
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 Gestão de ativos	4
2.1.1 Gestão de ativos no setor elétrico.....	6
2.2 Apoio Multicritério a Decisão	8
2.2.1 A Família de Métodos ELECTRE	10
2.2.2 O Método ELECTRE TRI.....	11
3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO	15
3.1 Contextualização e Justificativa do Modelo	15
3.2 O Modelo	16
3.2.1 Alternativas	16
3.2.2 Critérios.....	16
3.2.3 Categorias.....	17
3.2.4 Perfis.....	18
3.2.6 Nível de Corte	19
3.3 Aplicação do Modelo com Dados Realísticos	19

3.3.1 Aplicação.....	19
3.3.2 Análise dos Resultados.....	25
4. CONCLUSÕES.....	27
4.1 Limitações.....	27
4.2 Sugestões para Trabalhos Futuros	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Definição das categorias utilizando os limites de cada perfil (Adaptado de Mousseau e Slowinsky, 1998).....	12
Figura 3.1 – Classificação com $\lambda = 0,50$, utilizando os dois procedimentos.....	24
Figura 3.2 – Classificação com $\lambda = 0,75$, utilizando procedimento pessimista.....	25
Figura 3.3 – Classificação com $\lambda = 0,75$, utilizando procedimento otimista.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Os critérios, seus pesos e suas unidades	17
Tabela 3.2 – Os desempenhos dos perfis das categorias.	18
Tabela 3.3 – Limiares de preferência, indiferença e veto.....	19
Tabela 3.4 – Matriz de Conseqüência	20
Tabela 3.5 – Concordâncias parciais $c_1(a_i, b_h)$ para o critério Preço.....	21
Tabela 3.6 – Concordâncias parciais $c_2(a_i, b_h)$ para o critério Custo de Reparo	21
Tabela 3.7 – Concordâncias parciais $c_3(a_i, b_h)$ para o critério Importância para Qualidade do Serviço.....	22
Tabela 3.8 – Índices de Concordância $c(a_i, b_h)$	22
Tabela 3.9 – Índices de Discordância $d_1(a_i, b_h)$ para o critério Preço	22
Tabela 3.10 – Índices de Discordância $d_2(a_i, b_h)$ para o critério Custo de Reparo.....	22
Tabela 3.11 – Índices de Discordância $d_3(a_i, b_h)$ para o critério Importância para Qualidade do Serviço.....	23
Tabela 3.12 – Índices de Credibilidade $\sigma(a, b)$	23
Tabela 3.13 – Índices de Credibilidade $\sigma(b, a)$	23
Tabela 3.14 – Relações de Sobreclassificação com $\lambda = 0,50$	24
Tabela 3.15 – Relações de Sobreclassificação com $\lambda = 0,50$	24

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, o setor elétrico de muitos países passou por forte reestruturação, modificando a estrutura que possuía apenas empresas públicas com modelos de gestão burocráticos e lentos (HOSKINS *et al.*, 1998). Esta reestruturação foi realizada com a criação de agências reguladoras e com a privatização e abertura para novos entrantes do mercado de energia elétrica. Nesta nova fase, as empresas do setor elétrico têm como objetivos, além da manutenção do alto nível de serviço regulatoriamente exigido, a preocupação com o lucro operacional e com sua permanência no mercado em longo prazo.

É natural concluir que novos modelos de gestão, mais eficientes, sejam requeridos por estas empresas para que elas consigam atingir esses novos objetivos. Deste modo este trabalho terá como objetivo estudar o que já existe na literatura sobre a gestão de ativos no setor elétrico e, posteriormente, desenvolver um modelo que auxilie a gestão de ativos no setor elétrico e que possa ser utilizado pelas empresas deste setor.

1.1 Justificativa

As empresas do setor elétrico possuem ativos em grande quantidade e variedade espalhados por uma extensa área geográfica. Estes ativos sofrem diversas formas de desgaste, desde vandalismo a intempéries naturais. E cada um deles passa pelo processo de envelhecimento de uma forma diferente, exigindo diferentes tempos de inspeção, manutenção e substituição.

A gestão de ativos, que para Schneider *et al.* (2006) significa operar um grupo de ativos durante todo seu ciclo de vida operacional garantindo um retorno ideal e assegurando padrões definidos de serviço e segurança, pode ter um papel importante no entendimento, avaliação e implantação de políticas de inspeção, manutenção e substituição dos ativos no setor elétrico, mantendo os custos e o nível de serviço em padrões adequados.

1.2 Objetivos

O trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um modelo que sirva como ferramenta para permitir às empresas do setor elétrico priorizar seus ativos com base em um procedimento formal.

Os objetivos específicos serão:

- Entender o contexto no qual o setor elétrico está hoje inserido.
- Conhecer como é feita e quais modelos são utilizados para a gestão de ativos no setor.
- Buscar na literatura os métodos existentes para o desenvolvimento de gestão de ativos.
- Desenvolver um modelo teórico conceitual que colabore com a gestão de ativos no setor elétrico.

1.3 Metodologia

Por ser um trabalho no qual dos conceitos pesquisados na revisão bibliográfica, se tenta atingir a solução para um problema específico, este trabalho tem um método científico dedutivo.

A pesquisa será aplicada, descritiva, utilizará uma abordagem combinada exploratória e, quanto aos dados, bibliográfica e de modelagem.

A pesquisa será aplicada, pois tem como objetivo ser aplicada a uma empresa do setor elétrico. O modelo será conceitual teórico. Será descritiva, pois tem como objetivo descrever um modelo de gestão de ativos para o setor elétrico (UFSC, 2001).

Primeiro, ela terá uma abordagem qualitativa, composta pela pesquisa bibliográfica e pela revisão dos modelos existentes. E, posteriormente, uma abordagem quantitativa, com a tentativa de modelagem (UFSC, 2001).

1.4 Organização do Trabalho

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem seu corpo dividido em 4 capítulos.

O capítulo 1 descreve os objetivos do trabalho, a motivação para sua realização, sua relevância na área inserida e a metodologia que será empregada para a sua execução.

O capítulo 2 compreende a revisão bibliográfica e base conceitual necessárias para o entendimento de todos os conceitos utilizados no desenvolvimento do modelo e na realização do estudo de caso. São abordados os temas: Gestão de Ativos e Apoio Multicritério à Decisão.

O capítulo 3 trata do desenvolvimento do modelo de apoio à decisão, que objetiva auxiliar as empresas a classificar em prioridade grupos de seus ativos, organizando assim os

gastos de recursos financeiros e de tempo. Nesse capítulo, também será apresentada uma aplicação com dados realístico do modelo e uma análise dos seus resultados.

O capítulo 4 traz as conclusões do trabalho, apresenta suas limitações e fornece sugestões para futuros trabalhos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Gestão de ativos

No ambiente competitivo em que as organizações estão inseridas, possuir uma boa gestão de ativos é fundamental para o alcance do sucesso da organização. Para permanecer como uma escolha dos consumidores ou não ser punida pelas agências reguladoras, as empresas devem manter seus preços competitivos ao mesmo tempo em que fornecem seus produtos com um alto nível de serviço.

Beardow (2003) *apud* Crisp (2004) define ativo como item ou propriedade de uma empresa ou indivíduo que possui valor monetário. São identificados três tipos de ativo: os ativos físicos, os ativos financeiros e os ativos intangíveis. Neste trabalho o termo ativo se referencia apenas aos ativos físicos, ou seja, aos equipamentos, estruturas e itens que compõe uma empresa.

De acordo com Schneider *et al.* (2006), gestão de ativos significa operar um grupo de ativos durante todo seu ciclo de vida operacional garantindo um retorno ideal e assegurando padrões definidos de serviço e segurança.

Para Hastings (2000) *apud* Crisp (2004), gestão de ativos começa com um objetivo organizacional ou de negócio e é o conjunto de atividades associadas com a identificação e aquisição de quais ativos são necessários. Fornecendo suporte e manutenção, fazendo seu descarte e renovação para que se atinja o objetivo desejado de forma eficiente e eficaz.

Segundo Hoskins *et al.* (1998), existem cinco perguntas que os gestores e donos de ativos identificaram e para as quais buscam respostas. Estas são:

- Qual o impacto no custo e no risco do aumento do intervalo em uma política de manutenção baseada no tempo?
- Em que condição um item deve sofrer manutenção para assegurar que este permaneça num nível adequado de segurança?
- Com qual frequência um dispositivo deve ser inspecionado? Ademais, quais informações devem ser registradas nessas inspeções? E como essas informações devem ser utilizadas?
- Quando os ativos deverão ser substituídos e como uma substituição em larga escala deve ser implementada?

- Qual é a variação nos custos anuais entre as diferentes políticas de gestão de ativos? Além disso, uma política que garantisse um custo anual mais regular durante os anos seria considerada, ainda que fosse um pouco mais cara?

Pode ser considerado um bom modelo de gestão de ativos aquele que possui as ferramentas que possibilitam as respostas a essas perguntas.

Em uma opinião do setor privado, Peterson (2002) do *Strategic Asset Management Inc.* define gestão de ativos como o processo de gerenciamento global através do qual se deve consistentemente fazer e executar as decisões em relação ao uso e cuidado dos ativos.

Os componentes importantes para um sistema de gestão de ativos incluem (DORNAN, 2000):

- Inventário de ativos - integrado a um sistema de informação geográfico.
- Processos de avaliação de ativos.
- Padrões e medições de desempenho.
- Processos de avaliação quantitativa de condição.
- Capacidade de previsão de desempenho.
- Informações de utilização do ativo.
- Sistema de planejamento de gestão de ativo.
- Sistema de gestão de manutenção.
- Métodos de análise de renovação/substituição de ativos:
 - Custo do ciclo de vida,
 - Análise de custo/efetividade,
 - Custo anual equivalente,
- Índice de custo de longevidade.
- Procedimentos e políticas de eliminação de ativos.

Os aspectos que a gestão de ativos deve levar em consideração são alta confiabilidade dos ativos e problemas críticos de segurança (HOSKINS *et al.*, 1998). Os diferentes graus de importância dados a esses dois aspectos por diferentes setores explicam as diversas formas que diferentes indústrias lidam com a gestão de ativos.

Neste contexto, observa-se a existência de grandes desafios a serem superados pelos modelos de gestão de ativos. Schneider *et al.* (2006) destaca:

- Alinhar as estratégias e operações com os valores e objetivos dos *stakeholders*;
- Equilibrar a confiabilidade, segurança e considerações financeiras;
- Beneficiar-se de taxas baseadas em desempenho;

- Adequar-se a um regime de punições baseado no produto.

Os dois primeiros desafios são relativos à necessidade de ajustar o nível de serviço aos baixos custos operacionais desejados por investidores e acionistas. Beneficiar-se de taxas baseadas em desempenho é a capacidade de monitorar e avaliar seus processos conseguindo utilizar essa informação para melhorá-los. O quarto desafio é que o modelo de gestão de ativos considere que vai haver punições, seja por agências reguladoras, seja por perda de clientes, sempre que as expectativas dos *stakeholders* em relação ao output não sejam atendidas.

De acordo com Crisp (2004), a gestão de ativos físicos pode ser realizada em três diferentes níveis:

- Gestão de ativos no nível do equipamento – Inclui, entre outras atividades, a análise dos modos de falha, monitoramento da condição e avaliação do tempo de vida restante do equipamento.
- Gestão de ativos no nível dos processos – Basicamente a extrapolação do nível anterior para um conjunto determinado de equipamentos. Neste nível, estão englobados ferramentas e processos de gestão, como por exemplo, Manutenção Centrada em Confiabilidade, análise do custo do ciclo de vida, métodos de otimização da política de manutenção e sistemas de gestão da manutenção.
- Gestão dos ativos no nível estratégico – Alinhado com a estratégia da empresa, sua ênfase é em desenvolver políticas e práticas que apoiem os objetivos de curto e longo prazo da companhia, levando em consideração múltiplos e, algumas vezes, conflitantes fatores. É nesse nível que o modelo proposto por este trabalho se encaixa.

2.1.1 Gestão de ativos no setor elétrico

É papel das empresas de distribuição e transmissão de energia encontrar o equilíbrio entre atender os requerimentos em relação à qualidade do serviço prestado aos consumidores a um preço acessível e responder às demandas dos *stakeholders* de retornos adequados do capital investido (SCHNEIDER *et al.*, 2006). Entretanto, com o ambiente cada vez mais competitivo, os recursos alocados para a manutenção dos ativos estão sob pressões crescentes.

Desta forma, é importante que os gestores possam fazer uso de uma ferramenta que consiga otimizar o retorno de capital, tendo como restrições a qualidade do serviço prestado, o preço regulado por agências governamentais e os recursos disponibilizados.

Para Schneider *et al.* (2006), a gestão de ativos em companhias do setor elétrico exerce um papel chave na detecção de problemas e avaliação de decisões, conduzindo ao sucesso em longo prazo e aos melhores ganhos possíveis.

As preocupações com a gestão dos ativos do setor elétrico são crescentes. De acordo com Hoskins *et al.* (1998), existem 4 principais motivos para esse aumento:

- Privatização e reestruturação do sistema de fornecimento de energia.
- Idade avançada da rede.
- Nível de serviço exigido pelas agências reguladoras e pelos clientes.
- Falhas catastróficas.

A tradicional política de manutenção baseada no tempo em conjunto com um livro de registro da vida que é comumente utilizada pelas companhias do setor elétrico tem, ao menos, três deficiências (HOSKINS *et al.*, 1998):

- Não há garantias de que a política adotada seja a alternativa ótima. Apesar de ser bastante utilizada há muito tempo no setor elétrico, não há justificações para que essa alternativa seja a ótima.
- Atualmente, é senso comum que tais políticas podem ser conservativas demais e que muitos dos itens podem ter o intervalo entre suas manutenções atrasadas e que alguns podem não sofrer manutenção alguma.
- A abordagem tradicional não fornece predições claras da condição futura dos itens da rede ou quando sua substituição será necessária.

Na literatura, são encontrados diversos modelos diferentes para a gestão de ativos no setor elétrico. A maioria deles aborda itens do setor elétrico separadamente. A seguir, são apresentados três exemplos:

Crisp (2004) apresenta quatro modelagens possíveis para a gestão de ativos: modelagem *fuzzy*, modelagem de sistemas dinâmicos, análise markoviana e modelagem baseada no tempo para o processo de tomada de decisão. A autora afirma que enquanto a última modelagem não atende às necessidades da gestão de ativos, a análise markoviana e a modelagem de sistemas dinâmicos podem analisar partes importantes individuais da gestão de ativos. A modelagem *fuzzy* seria a ideal para uma abordagem completa da gestão de ativos no setor elétrico.

Abu-Elanien e Salama (2010) analisam e apresentam as vantagens e desvantagens das políticas de manutenção de transformadores baseadas em manutenção corretiva, manutenção baseada no tempo, manutenção baseada na condição e manutenção centrada em confiabilidade (RCM). Além de apresentarem diferentes formas de analisar e monitorar a condição do transformador e um estudo sobre seu envelhecimento, saúde e fim de vida.

Gustavsen e Rolfseng (2005) analisam a gestão de ativos de postes de madeiras, descrevendo duas análises probabilísticas: uma para estimar o quantitativo de postes de madeira a serem substituídos dado um período de tempo e outra para estimar os danos que uma tempestade pode causar numa rede de postes de madeira.

2.2 Apoio Multicritério a Decisão

É certo que o desempenho e a sobrevivência de uma empresa no mercado estão diretamente relacionados com a rapidez e qualidade das decisões que ela toma. E, segundo Silva e Souza (2002), é improvável que se alcance uma solução satisfatória para um problema sem que sejam estudadas as relações nele existentes.

A priorização de ativos no setor elétrico possui alguns objetivos simultâneos e, em alguns casos, conflitantes. E quando o conflito é o fator motivador para que haja um processo de tomada de decisão, utilizam-se métodos multicritério de apoio a decisão para apoiar e conduzir os decisores na avaliação e escolha das alternativas de ação (ZELENY, 1982; ALMEIDA, 2002).

O Apoio Multicritério a Decisão (AMD) tem como objetivo fornecer ao decisor uma relação de “preferências (subjetivas) entre as alternativas que estão sendo avaliadas sob a influência de vários critérios no processo de decisão” (ALMEIDA, 2002).

Existem diversos métodos desenvolvidos para a busca de soluções em problemas com mais de um objetivo. Segundo Almeida (2010), os métodos multicritério podem ser classificados em métodos de critério único de síntese, métodos de sobreclassificação e métodos interativos.

No primeiro grupo, destaca-se a teoria da utilidade multiatributo (MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*). O MAUT apresenta toda uma estrutura axiomática e possui uma lógica compensatória entre os critérios, de modo a se obter uma função de sínteses que agregue todos os critérios numa única função analítica (GOMES *et al.*, 2002).

Os métodos de sobreclassificação são principalmente representados pela família de métodos PROMETHEE e pela família de métodos ELECTRE, que será utilizada neste

trabalho. São métodos mais flexíveis, sem compensação entre os critérios e que aceitam incomparabilidade entre as alternativas.

Os métodos interativos fazem uso, em sua maioria, de métodos de programação matemática, principalmente programação linear multi-objetivo, e são aqueles que utilizam de algoritmos interativos para encontrar a melhor solução. Em geral, esses métodos são aplicados com grande auxílio computacional pois possuem grande carga matemática.

Segundo Almeida (2002), a escolha de qual método deve ser utilizado depende de vários fatores, incluindo as características do problema utilizado, o contexto considerado, a estrutura de preferências do decisor e da problemática. Abaixo, seguem explicações necessárias para melhor compreensão do trabalho sobre problemática, relações de preferência e sobre os critérios e sua classificação.

A problemática depende do tipo de resultado que se pretende obter com a aplicação do método. Para Roy (1996), existem quatro tipos de problemática:

- Problemática de escolha é a mais tradicional das problemáticas. Auxilia a encontrar um subconjunto com as alternativas de melhor compromisso com os objetivos;
- Problemática de classificação surge quando um conjunto de ações ou itens deve ser classificado em categorias pré-estabelecidas, tendo como base para encaminhamento um teste;
- Problemática de ordenação auxilia a ordenar ações em ordem decrescente de preferência ou a criar um procedimento de ordenação;
- Problemática de descrição auxilia a descrever ações e suas conseqüências de maneira formalizada ou a desenvolver um procedimento cognitivo.

Segundo Öztürk *et al.* (2005), as relações de preferências são binárias dentre todos os pares de alternativas existentes, no qual cada par pode ter apenas uma relação de preferência que o defina. Cada conjunto de alternativas possui uma estrutura de preferência, um conjunto de relações binárias, que esgota todas as relações existentes entre os pares de alternativas do conjunto. Abaixo, uma lista não exaustiva dessas relações (ALMEIDA, 2010):

- Indiferença (aIb) – Corresponde a razões claras e objetivas que justifiquem a equivalência entre dois elementos. Ou seja, há indiferença entre a e b .
- Preferência Estrita (aPb) – Corresponde a razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa de um dos dois elementos.

- Preferência Fraca (aQb) – Corresponde a razões claras e positivas que invalidem uma preferência estrita em favor de um dos elementos, mas que sejam insuficientes para deduzir uma indiferença entre os elementos ou uma preferência a favor do outro.
- Incomparabilidade (aJb) – Corresponde a ausência de razões claras e positivas para justificar qualquer das três situações precedentes.
- Sobreclassificação (aSb) – Corresponde a existência de razões claras e objetivas que justifiquem a preferência ou a preferência J em favor de um dos dois elementos, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença.

Segundo definição do Dicionário Aurélio, critério é “aquilo que serve de base para comparação, julgamento e apreciação”. Ou seja, ele é a forma que o decisor tem de avaliar as alternativas. O critério também pode ser expresso como o desempenho de um elemento em uma avaliação. Em um problema multicritério, o que se tem é um conjunto de critérios, comumente chamado de família de critérios. Os critérios podem ser classificados em (ALMEIDA, 2010):

- Critério verdadeiro – É o critério tradicional. A estrutura de preferência associada é uma pré-ordem completa.
- Semi-critério – Sua estrutura de preferência associada é uma semi-ordem, ou seja, um modelo no qual existe um limiar. Esse limiar define uma faixa de valores na qual há indefinição para aceitação de uma relação de preferência.
- Critério de intervalo – Corresponde ao modelo no qual o limiar citado acima é variável. Sua estrutura de preferência associada é uma ordem de intervalo.
- Pseudo-critério – Quando a estrutura de preferência é uma pseudo-ordem, que corresponde ao modelo com limiar duplo.

2.2.1 A Família de Métodos ELECTRE

O método ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant La Réalité*) foi desenvolvido por Bernard Roy na década de 60. Essa família é composta de métodos de sobreclassificação que, tipicamente, possuem duas fases (ALMEIDA, 2010).

Na primeira, há a construção das relações de sobreclassificação, na qual se estabelece uma comparação par a par entre as alternativas. Nessa construção são utilizados os conceitos de Concordância e Discordância.

Dado que se está comparando a alternativa a com a alternativa b , ou seja, deseja-se obter a concordância e discordância da alternativa a . Concordância é um fato, expresso na forma de um índice, que indica a quantidade de critérios nos quais a alternativa a é preferível à alternativa b . Discordância, também um fato expresso na forma de um índice, indica se há uma diferença de desempenho em favor da alternativa b maior que um valor pré-determinado. (ALMEIDA, 2010)

Posteriormente, na segunda fase, explora-se a relação de sobreclassificação, aplicando-se um procedimento para resolver o problema em função da problemática específica abordada.

Os métodos que constituem a família ELECTRE são (ALMEIDA, 2010):

- ELECTRE I – problemática de escolha, utiliza critério verdadeiro. Tem como objetivo criar um subconjunto A' de A que possua apenas as alternativas incomparáveis e não sobreclassificadas.
- ELECTRE IS – problemática de escolha, utiliza pseudo-critério. Semelhante ao ELECTRE I, só que utilizando pseudo-critérios.
- ELECTRE II – problemática de ordenação, utiliza critério verdadeiro. Tem como objetivo a criação de dois *rankings*: um na ordem decrescente, das melhores para as piores alternativas, e outro na ordem inversa.
- ELECTRE III – problemática de ordenação, utiliza pseudo-critério. Tem resultado semelhante ao ELECTRE II, porém tem como resultados duas pré-ordens.
- ELECTRE IV – problemática de ordenação, utiliza pseudo-critério, sem uso de pesos para os critérios.
- ELECTRE TRI – problemática de classificação, utiliza pseudo critério, será o método utilizado neste trabalho e será pormenorizado adiante.

2.2.2 O Método ELECTRE TRI

ELECTRE TRI é um método de classificação multicritério, ou seja, um método que aloca alternativas para categorias pré-definidas. Essa alocação é um resultado da comparação

das alternativas com os perfis que definem os limites de cada categoria (MOUSSEAU e SLOWINSKI, 1998).

No método calcula-se um índice de credibilidade $\sigma(a, b_h)$ que avalia o quanto a alternativa a supera a alternativa b_h . O índice $\sigma(a, b_h) \in [0;1]$ e a afirmação aSb_h é considerada válida se $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$, onde λ é um nível de corte situado no intervalo $[0,5;1]$. (SZAJUBOK *et al.*, 2006). Segue, abaixo, explicação de como calcular o índice de credibilidade e como realizar a classificação das alternativas nas categorias.

Seja F o conjunto dos índices dos critérios $g_1, g_2, \dots, g_m, F=\{1,2,\dots,i,\dots,m\}$, e seja B o conjunto dos índices dos perfis que definem $p+1$ categorias, $B=\{1,2,\dots,h,\dots,p\}$, b_h sendo o limite superior da categoria C_h e o limite inferior da categoria C_{h+1} .

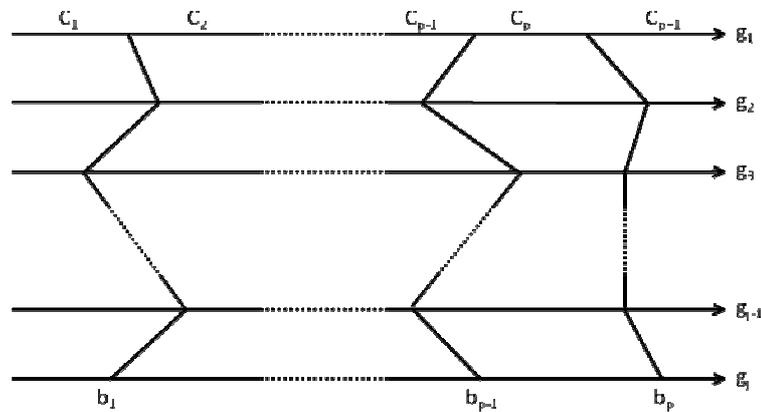


Figura 2.1 – Definição das categorias utilizando os limites de cada perfil (Adaptado de Mousseau e Slowinsky, 1998)

As preferências por cada critério são definidas utilizando pseudo-critérios, nos quais os limiares de preferência $p_j[g(b_h)]$ e indiferença $q_j[g(b_h)]$ constituem as informações intra-critério. Sendo $q_j[g(b_h)]$ a maior diferença que preserva a indiferença entre a e b_h no critério g_j e $p_j[g(b_h)]$ a menor diferença $g_j(a)-g_j(b_h)$, compatível com uma preferência de a no critério g_j . (MIRANDA e ALMEIDA, 2003).

Essa estrutura de preferência com pseudo-critérios, cria uma zona de preferência fraca, evitando, desse modo, uma passagem repentina entre a indiferença e a preferência estrita. Miranda e Almeida (2003), no entanto, utilizam critério verdadeiro, igualando $p = q = 0$, devido ao tipo de escala utilizada.

Esses pseudo-critérios são utilizados no cálculo das concordâncias, concordâncias parciais e discordâncias parciais, índices utilizados para o cálculo do índice de credibilidade mencionado acima.

No caso específico da concordância, se faz uso dos pesos dos critérios k_1, k_2, \dots, k_j , para se mensurar a importância relativa de cada concordância parcial. E para calcular a

discordância parcial, também se utiliza os limiares de veto $v_1(b_h)$, $v_2(b_h)$, ..., $v_j(b_h)$, que representam a menor diferença $g_j(b_h) - g_j(a)$ incompatível com a afirmação aSb_h .

Os índices de concordância parcial são calculados da seguinte forma:

$$c_j(a, b_h) = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ se: } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1, \text{ se: } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)}, \text{ de outra forma} \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

Os índices de concordância são calculados da seguinte forma:

$$c(a, b_h) = \frac{\sum_{j \in F} k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} k_j}, \quad (2.2)$$

onde $k_j = \text{peso do critério } j$

E os índices de discordância, da seguinte forma:

$$d_j(a, b_h) = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ se: } g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \\ 1, \text{ se: } g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h) \\ \frac{g_j(b_h) - g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)}, \text{ de outra forma} \end{array} \right\} \quad (2.3)$$

Só então, calculam-se os índices de credibilidade. Devem ser calculados tanto $\sigma(a, b_h)$ quanto $\sigma(b_h, a)$. O cálculo deve ser feito da seguinte forma:

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \cdot \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c(a, b_h)}, \quad (2.4)$$

onde $\bar{F} = \{j \in F: d_j(a, b_h) > c(a, b_h)\}$

Os valores de $\sigma(a, b_h)$, $\sigma(b_h, a)$ e λ determinam as situações de preferência entre a e b_h (MOUSSEAU e SLOWINSKI, 1998):

- $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ e $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \rightarrow aSb_h$ e $b_hSa \rightarrow a$ é indiferentes a b_h .
- $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ e $\sigma(b_h, a) < \lambda \rightarrow aSb_h$ e não $b_hSa \rightarrow a$ é preferível a b_h .
- $\sigma(a, b_h) < \lambda$ e $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \rightarrow$ não aSb_h e $b_hSa \rightarrow b_h$ é preferível a a .
- $\sigma(a, b_h) < \lambda$ e $\sigma(b_h, a) < \lambda \rightarrow$ não aSb_h e não $b_hSa \rightarrow a$ e b_h são incomparáveis.

Depois de encontradas as relações de sobreclassificação, atribuem-se as alternativas às categorias pré-determinadas. Existem dois procedimentos para realizar essa classificação: procedimento pessimista, ou conjuntivo, e procedimento otimista, ou disjuntivo. A diferença entre eles está na forma com que eles comparam as alternativas aos perfis (MOUSSEAU *et al.*, 2001).

O procedimento pessimista inicia-se comparando a alternativa a com os limites de categoria b_i , esses em ordem decrescente, ou seja, primeiro compara-se a com b_p , depois com b_{p-1} , e assim sucessivamente até que encontre-se aSb_h . Então a alternativa a pertencerá à categoria C_{h+1} .

Já o procedimento otimista consiste em comparar a alternativa a com os limites de categoria b_i , esses em ordem crescente, sucessivamente, até que se encontre b_hSa . Então, se atribui a alternativa a à categoria C_h .

O modelo proposto neste trabalho, descrito na próxima seção, apresenta uma proposta de utilização do método ELECTRE TRI para classificação de grupos de ativos do setor elétrico. Outras aplicações do ELECTRE TRI em contextos diferentes podem ser encontrados em Miranda e Almeida (2003), Szajubok *et al.*(2006) e Brito *et al.*(2010).

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

3.1 Contextualização e Justificativa do Modelo

Embora existam diversos modelos na literatura para a gestão de ativos, como visto na seção 2.1, nenhum dos modelos encontrados aborda a questão de priorização, tópico que segundo Dornan (2000) é parte integrante de um modelo de gestão de ativos completo.

O modelo aqui desenvolvido visa propor uma ferramenta que permita às empresas do setor elétrico ter como priorizar grupos de seus ativos de forma embasada. Ferramenta que tem o potencial de ser altamente útil em um cenário com escassez de recursos em um setor que exige respostas no menor tempo possível.

Destaca-se que o modelo tem como objetivo classificar um gênero de ativos e não equipamentos individualmente. Ou seja, o contexto no qual um equipamento está inserido não deve influenciar o desempenho do ativos nos critérios.

É válido salientar que os critérios utilizados foram obtidos com um auxílio de um especialista. Eles conseguem classificar ativos oriundos de qualquer etapa do setor elétrico, seja a distribuição, transmissão ou geração. Entretanto, há grande diferença entre os custos e as importâncias relativas dos ativos das diferentes etapas, sendo sempre preferível classificar ativos que sejam semelhantes ou que estejam próximos dentro da cadeia produtiva.

Como um exemplo, pode-se mencionar a diferença de preço que existe entre uma turbina de geração de energia dentro de uma hidroelétrica e um transformador localizado em um poste de distribuição de energia. Como o preço é um critério normalizado, o transformador teria um desempenho muito pequeno nesse critério, não compatível com sua importância dentro da cadeia produtiva.

A escolha de um método multicritério de apoio a decisão deve-se a sua capacidade de considerar todos os aspectos relevantes de um problema. Fato imprescindível na questão da priorização, dado que qualquer aspecto deixado de fora da avaliação poderia modificar inteiramente sua disposição final.

O ELECTRE TRI foi o método eleito, principalmente, por dois motivos. É um método de sobreclassificação não-compensatório e de classificação, características desejadas dada a natureza de alguns critérios utilizados e que se admite que vários ativos possam ter o mesmo grau de prioridade. Além disso, é um método de simples aplicação e leitura de seus resultados.

3.2 O Modelo

Conforme visto na 2.2.2, as informações externas – ao modelo – necessárias para o desenvolvimento de um modelo utilizando o ELECTRE TRI são as alternativas, a_1, a_2, \dots, a_i , os critérios, g_1, g_2, \dots, g_j , e as categorias, C_1, C_2, \dots, C_{p+1} .

Um modelo do ELECTRE TRI também é composto por suas informações internas, aquelas que são utilizadas apenas no desenvolvimento do modelo. Mousseau e Slowinski (1998) destacam:

- Os perfis definidos por suas avaliações $g_j(b_h), \forall j \in F, \forall h \in B$
- Os pesos dos critérios $k_j, \forall j \in F$
- Os limiares de preferência e indiferença $q_j(b_h), p_j(b_h), \forall j \in F, \forall h \in B$
- Os limiares de veto $v_j(b_h), \forall j \in F, \forall h \in B$
- O nível de corte $\lambda \in [0,5; 1]$
- A seleção de que procedimento será utilizado para atribuição das alternativas às categorias.

A atribuição de valores a essas funções listadas acima é tema de discussão na literatura (MOUSSEAU *et al.*, 2001). Neste trabalho, para essa atribuição, foi utilizada uma abordagem bastante simples.

Partiu-se do princípio que o direcionamento de recursos exige que pouco ativos ocupem a primeira faixa de importância, portanto, escolheu-se os perfis, os pseudo-critério e os vetos de forma a limitar a entrada das alternativas na primeira categoria.

3.2.1 Alternativas

As alternativas serão sempre um grupo de ativos do setor elétrico. Entretanto, é preferível que o subconjunto dos ativos seja homogêneo, ou seja, composto de ativos que façam parte do mesmo ramo do setor elétrico ou que sejam semelhantes em suas funções.

3.2.2 Critérios

Os critérios utilizados, identificados com o auxílio do especialista, serão o preço do ativo (g_1), o custo de reparo (g_2) e a importância para qualidade do serviço ao cliente (g_3).

Os critérios preço e custo de reparo devem ter seus desempenhos normalizados com o intuito de manter os perfis das categorias e os limiares de preferência, indiferença e veto, independentemente do subconjunto de ativos que venha a ser classificado no modelo. O procedimento de normalização utilizado deve ser a divisão de todos os desempenhos pelo desempenho máximo do subconjunto de ativos, ou seja, $v'_j(a_i) = v_j(a_i)/[\text{Máximo } v_j(a_i)]$. Desta forma, preserva-se a proporcionalidade entre os desempenhos nos valores normalizados.

O preço é o valor do desembolso para aquisição de um novo ativo no momento do estudo. É representado na unidade monetária corrente, no caso deste trabalho, o Real, e utiliza uma escala de razão.

O custo de reparo é composto pelos custos da política de manutenção previamente escolhida¹ do equipamento e da manutenção do equipamento inativo durante o conserto ou reposição.

Importância para qualidade do serviço ao cliente é um importante critério subjetivo. Nele estão agrupados os riscos à segurança e ao meio ambiente do equipamento, além da importância, na opinião do especialista, do ativo no fornecimento contínuo do serviço ao cliente. Sua avaliação é realizada por meio de uma escala ordinal, numérica e subjetiva com cinco níveis, sendo do quinto nível os ativos com maior importância.

Os pesos dos critérios foram escolhidos com o auxílio de uma especialista na área do setor elétrico. Eles foram obtidos por meio de um processo simples. Pediu-se para que o especialista atribuísse notas aos critérios de 0 a 10 aos critérios, sendo 10 a nota para o critério com a maior importância. Depois as notas foram somadas e, em seguida, era obtido o quociente da divisão de cada nota pela soma, obtendo assim um valor normalizado, ou seja, no intervalo [0,1], que podem ser visualizados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Os critérios, seus pesos e suas unidades

Critérios	Pesos	Unidade
Preço	0,3	R\$
Custo de Reparo	0,2	R\$
Importância para qualidade do serviço ao cliente	0,5	Escala subjetiva

3.2.3 Categorias

¹ Não é o intuito de este trabalho propor tais políticas de manutenção. No entanto, é uma das sugestões para trabalhos futuros.

As categorias escolhidas para o modelo foram três níveis de criticidade distintos: Ativos de Criticidade Baixa (C_1), Ativos de Criticidade Moderada (C_2) e Ativos de Criticidade Alta (C_3). Essas classes direcionam estrategicamente a gestão a ser implementada nos ativos. A alocação de um ativo em uma dessas classes define a quantidade de recursos e o tipo de atenção que esse ativo deve receber.

Os ativos de alta criticidade são aqueles essenciais ao funcionamento da empresa. Eles têm alta avaliação em todos os critérios utilizados no modelo. Uma falha na gestão desses ativos gera, invariavelmente, danos financeiros, punições da agência reguladora ou queda da imagem percebida pelos clientes da empresa.

Os ativos de criticidade moderada são aqueles que se sobressaem em apenas alguns dos critérios utilizados. Sua gestão não exige a atenção dos ativos críticos, porém uma desatenção prolongada pode levar as mesmas conseqüências. Esses ativos também devem estar sob atenção constante, pois algumas variações no decorrer do tempo podem levá-los a categoria de críticos, como, por exemplo, uma subida de preço.

A última categoria é composta pelos ativos de baixa criticidade. Esses ativos não oferecem grande ameaça à empresa em caso de falha. São ativos, majoritariamente, pertencentes a atividades não necessárias ao fornecimento contínuo do serviço, que entram em funcionamento em caso de falha de outros ativos ou de necessidades especiais.

3.2.4 Perfis

Os perfis são, de forma simplificada, o desempenho mínimo que uma alternativa deve ter em um critério para que possa pertencer à categoria acima do perfil – ou abaixo, a depender do procedimento de atribuição escolhido. Eles foram calculados, para os critérios Preço e Custo de Reparo, por meio de uma fração do desempenho máximo, de forma a restringir a entrada dos ativos na categoria C_3 . Estão dispostos na Tabela 3.2 abaixo.

Tabela 3.2 – Os desempenhos dos perfis das categorias.

Perfis	$g_1(b_h)$	$g_2(b_h)$	$g_3(b_h)$
b_1	0,25	0,25	2
b_2	0,80	0,80	4

3.2.5 Limiares de veto, preferência e indiferença

Os limiares de veto, preferência e indiferença foram obtidos, para os critérios preço e custo de reparo, por meio de uma porcentagem do valor do perfil.

O critério Importância para a Qualidade do Serviço ao cliente utiliza uma escala ordinal, tornando pouco interessante a utilização de pseudo-critérios. Não obstante, permanecerá um limiar veto para limitar a entrada de ativos na classe dos ativos de criticidade alta, conforme Tabela 3.3

Tabela 3.3 – Limiares de preferência, indiferença e veto.

Perfis	g_1	g_2	g_3
$p_i[g(b_1)]$	0,050	0,050	-
$p_i[g(b_2)]$	0,200	0,200	-
$q_j[g(b_1)]$	0,025	0,025	-
$q_j[g(b_2)]$	0,100	0,100	-
$v_j[g(b_1)]$	0,025	0,025	-
$v_j[g(b_2)]$	0,100	0,100	1

3.2.6 Nível de Corte

Inicialmente, utilizar-se-á um nível de corte $\lambda = 0,5$. Entretanto, o nível de corte, assim como o procedimento de atribuição das alternativas às categorias, pode ser utilizado como uma forma de análise de sensibilidade. Ou seja, variando essas duas características, pode-se chegar a diferentes classificações, fornecendo informações quanto à robustez do modelo.

3.3 Aplicação do Modelo com Dados Realísticos

3.3.1 Aplicação

Esta aplicação, assim como parte da formulação do modelo, foi realizada com o auxílio de um especialista. Ele escolheu os ativos e forneceu dados realísticos para a confecção da matriz de conseqüências.

Os ativos utilizados nesta aplicação são todos pertencentes à etapa de distribuição do setor elétrico, respeitando a limitação do modelo. Para melhor entendimento da aplicação, segue uma breve apresentação de cada um.

- Transformador 125KVA – Conversor de energia elétrica sem partes móveis que modifica a voltagem e corrente associada sem modificação da frequência. (IEC, 2001). O especialista escolheu o transformador com potência de 125KVA por ser o mais comumente utilizado.
- Estruturas de Suporte (Poste DT)– Estrutura de suporte vertical com uma de suas extremidades enterradas no chão (IEC, 1990).
- Condutor de Cobre 35mm² – É o condutor por onde a eletricidade é transmitida. Neste trabalho, essa alternativa é representada por 100 unidades de compra, artifício utilizado para considerar sua ampla utilização nas instalações.
- Isolador de Pino Polimérico – Isolador convencional dotado de orifício roscado ou provido de pino, constituído de um único corpo isolante, que para a fixação dos cabos cobertos, requer o uso de amarrações externas (CELG, 2007).
- Religador de Linha – Equipamento automático que é projetado para iniciar o re-fechamento dos dispositivos de abertura de circuito depois da realização da operação de proteção do circuito associado (IEC, 1995).
- Seccionizador – Um dispositivo de abertura de circuito que automaticamente isola uma falha, isolando o circuito falho do circuito não afetado que permite restauração do serviço elétrico. Pode possuir a capacidade de transferir ou trocar cargas. O seccionizador deve incluir os elementos que lhe permitam operar automaticamente (IEEE, 2005).
- Chave Seccionadora – Um dispositivo de abertura de fase única que interrompe o circuito elétrico. É um equipamento de manobra (IEEE, 2005).
- Chave Fusível – Um disjuntor no qual a parte móvel é composta por um fusível (IEC, 2000).

A Matriz de Conseqüência, na qual se apresenta o desempenho, já normalizado, de cada ativo em relação a cada critério, segue abaixo:

Tabela 3.4 – Matriz de Conseqüência.

Ativos	Preço	Custo de Reparo	Importância para qualidade do serviço ao cliente
Transformador de 112,5KVA	0,605	1,000	5
Estruturas de Suporte (Poste DT)	0,068	0,219	1

Condutor de Cobre 35mm ²	0,208	0,208	4
Isolador de Pino Polimérico	0,013	0,136	1
Religador de Linha	1,000	0,826	2
Seccionalizador	0,668	0,690	2
Chave Seccionadora	0,055	0,223	1
Chave Fusível	0,009	0,127	2

Para a construção das relações de sobreclassificação, tanto para $a_i S_{b_p}$ quanto para $b_p S_{a_i}$, o primeiro passo é calcular os índices de concordância parcial, concordância e discordância, utilizando os perfis e os limiares presentes nos itens 3.2.4 e 3.2.5, respectivamente, e as fórmulas do item 2.2.2.

Primeiramente, calculam-se os índices de concordância parcial:

Tabela 3.5 – Concordâncias parciais $c_1(a_i, b_h)$ para o critério Preço.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	1,000	0,053
Estruturas de Suporte (Poste DT)	0,000	0,000
Condutor de Cobre 35mm ²	0,320	0,000
Isolador de Pino Polimérico	0,000	0,000
Religador de Linha	1,000	1,000
Seccionalizador	1,000	0,684
Chave Seccionadora	0,000	0,000
Chave Fusível	0,000	0,000

Tabela 3.6 – Concordâncias parciais $c_2(a_i, b_h)$ para o critério Custo de Reparo.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	1,000	1,000
Estruturas de Suporte (Poste DT)	0,760	0,000
Condutor de Cobre 35mm ²	0,320	0,000
Isolador de Pino Polimérico	0,000	0,000
Religador de Linha	1,000	1,000
Seccionalizador	1,000	0,902
Chave Seccionadora	0,913	0,000

Chave Fusível	0,000	0,000
---------------	-------	-------

Tabela 3.7 – Concordâncias parciais $c_3(a_i, b_h)$ para o critério Importância para Qualidade do Serviço.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	1,000	1,000
Estruturas de Suporte (Poste DT)	0,000	0,000
Condutor de cobre 35mm ²	1,000	1,000
Isolador de Pino Polimérico	0,000	0,000
Religador de Linha	1,000	0,000
Seccionalizador	1,000	0,000
Chave Seccionadora	0,000	0,000
Chave Fusível	1,000	0,000

De posse das concordâncias parciais, pode-se calcular a concordância:

Tabela 3.8 – Índices de Concordância $c(a_i, b_h)$.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	1,000	0,716
Estruturas de Suporte (poste DT)	0,152	0,000
Condutor de Cobre 35mm ²	0,660	0,500
Isolador de Pino Polimérico	0,000	0,000
Religador de Linha	1,000	0,500
Seccionalizador	1,000	0,386
Chave Seccionadora	0,183	0,000
Chave Fusível	0,500	0,000

Em seguida, calcula-se a discordância para cada critério:

Tabela 3.9 – Índices de Discordância $d_1(a_i, b_h)$ para o critério Preço.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	0,000	0,000
Estruturas de Suporte (Poste DT)	1,000	1,000
Condutor de Cobre 35mm ²	0,000	1,000
Isolador de Pino Polimérico	1,000	1,000
Religador de Linha	0,000	0,000
Seccionalizador	0,000	0,000
Chave Seccionadora	1,000	1,000
Chave Fusível	1,000	1,000

Tabela 3.10 – Índices de Discordância $d_2(a_i, b_h)$ para o critério Custo de Reparo.

Ativos	b_1	b_2
--------	-------	-------

Transformador de 112,5KVA	0,000	0,000
Estruturas de Suporte (Poste DT)	0,000	1,000
Condutor de Cobre 35mm ²	0,000	1,000
Isolador de Pino Polimérico	1,000	1,000
Religador de Linha	0,000	0,000
Seccionalizador	0,000	0,000
Chave Seccionadora	0,000	1,000
Chave Fusível	1,000	1,000

Tabela 3.11 – Índices de Discordância $d_3(a_i, b_i)$ para o critério Importância para Qualidade do Serviço.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	0,000	0,000
Estruturas de Suporte (Poste DT)	1,000	1,000
Condutor de Cobre 35mm ²	0,000	0,000
Isolador de Pino Polimérico	1,000	1,000
Religador de Linha	0,000	1,000
Seccionalizador	0,000	1,000
Chave Seccionadora	1,000	1,000
Chave Fusível	0,000	1,000

Só então, calculam-se os índices de credibilidade:

Tabela 3.12 – Índices de Credibilidade $\sigma(a, b)$.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	1,000	0,716
Estruturas de Suporte (Poste DT)	0,000	0,000
Condutor de Cobre 35mm ²	0,660	0,000
Isolador de Pino Polimérico	0,000	0,000
Religador de linha	1,000	0,000
Seccionalizador	1,000	0,000
Chave Seccionadora	0,000	0,000
Chave Fusível	0,000	0,000

Realizando processo análogo, encontra-se o índice de credibilidade para a relação (b, a) .

Tabela 3.13 – Índices de Credibilidade $\sigma(b, a)$.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	0,000	0,000
Estruturas de Suporte (Poste DT)	1,000	1,000
Condutor de Cobre 35mm ²	0,000	1,000
Isolador de Pino Polimérico	1,000	1,000

Religador de Linha	0,000	0,700
Seccionalizador	0,000	1,000
Chave Seccionadora	1,000	1,000
Chave Fusível	1,000	1,000

De posse dos índices de credibilidade e dos níveis de corte, $\lambda = 0,50$ e $\lambda = 0,75$, pode-se encontrar as relações de sobreclassificação:

Tabela 3.14 – Relações de Sobreclassificação com $\lambda = 0,50$.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	aSb	aSb
Estruturas de Suporte (Poste DT)	bSa	bSa
Condutor de Cobre 35mm ²	aSb	bSa
Isolador de Pino Polimérico	bSa	bSa
Religador de Linha	aSb	bSa
Seccionalizador	aSb	bSa
Chave Seccionadora	bSa	bSa
Chave Fusível	bSa	bSa

Tabela 3.15 – Relações de Sobreclassificação com $\lambda = 0,75$.

Ativos	b_1	b_2
Transformador de 112,5KVA	aSb	aJb
Estruturas de Suporte (Poste DT)	bSa	bSa
Condutor de Cobre 35mm ²	aJb	bSa
Isolador de Pino Polimérico	bSa	bSa
Religador de Linha	aSb	aJb
Seccionalizador	aSb	bSa
Chave Seccionadora	bSa	bSa
Chave fusível	bSa	bSa

Utilizando os dois procedimentos para atribuição das alternativas às categorias nas duas relações de sobreclassificação, temos as seguintes classificações:

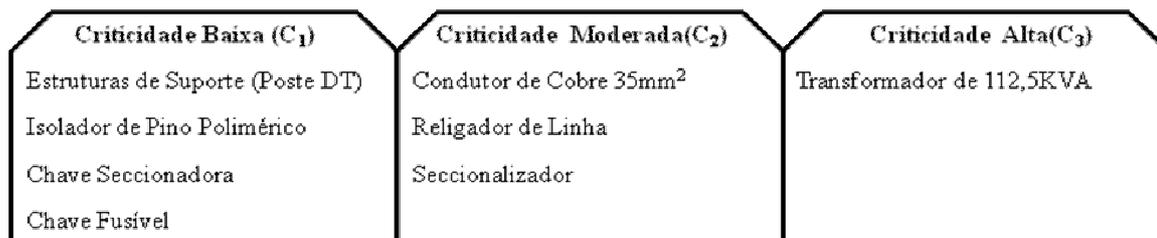


Figura 3.1 – Classificação com $\lambda = 0,50$, utilizando os dois procedimentos.

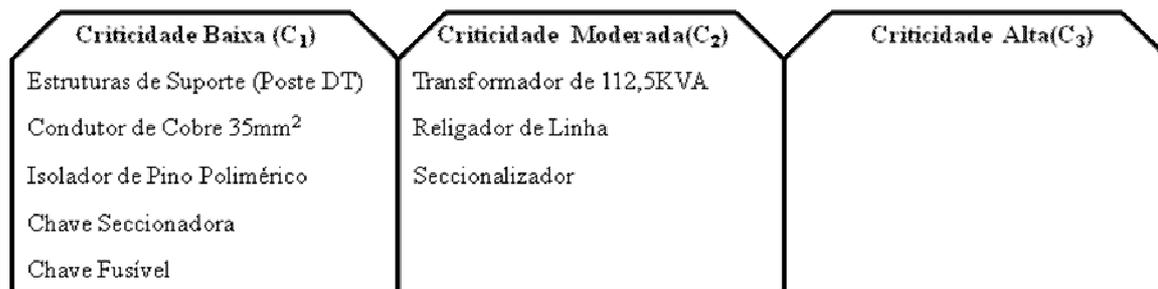


Figura 3.2 – Classificação com $\lambda = 0,75$, utilizando procedimento pessimista.

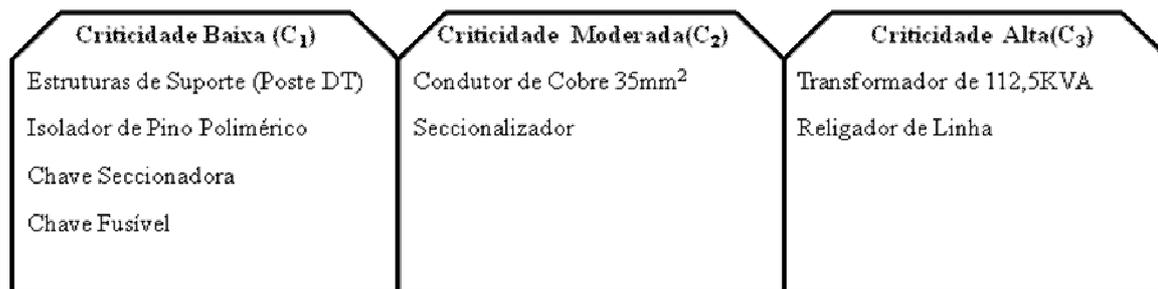


Figura 3.3 – Classificação com $\lambda = 0,75$, utilizando procedimento otimista.

3.3.2 Análise dos Resultados

Observa-se que quatro ativos, o Poste DT, o Isolador de Pino Polimérico, a Chave Seccionadora e a Chave Fusível, em todas as classificações foram atribuídos à categoria de ativos com menor criticidade. Isto é explicado pelo fato que, pelo menos em dois critérios, estes ativos têm desempenho menor que o primeiro perfil.

Esta disposição, com metade das alternativas sendo consideradas de baixa criticidade, é algo desejado em um modelo que sirva para direcionamento de recursos. Afinal, não haveria auxílio à priorização de recursos se, no modelo, muitos ativos fossem classificados com alta criticidade.

Por apresentar desempenhos intermediários em todos os critérios, o Seccionador sempre foi classificado na classe dos ativos com criticidade moderada, independentemente do nível de corte e do procedimento de atribuição utilizado.

Os ativos Condutor de Cobre e Transformador de 125KVA sofreram uma redução de classe quando utilizado o procedimento pessimista em conjunto com o nível de corte $\lambda = 0,75$. O aumento no nível de corte torna-o maior que o índice de credibilidade $\sigma(a,b)$, invalidando a preferência em função da alternativa e gerando uma relação de incomparabilidade. Diante deste fato, pode-se presumir um comportamento limítrofe destas alternativas, evidenciando sua sensibilidade a outras mudanças do modelo, como modificação nos pesos dos critérios ou utilização de outro subconjunto de alternativas.

De forma inversa, o ativo Religador de Linha teve seu nível de criticidade aumentado quando aplicados o nível de corte $\lambda = 0,75$ e o procedimento de atribuição otimista. Neste caso, o nível de corte torna-se maior que o índice de credibilidade $\sigma(b,a)$.

Por fim, destaca-se o comportamento do ativo Transformador de 125KVA que foi classificado como de alta criticidade em três das quatro análises. Tendo o maior desempenho em dois dos três critérios, deve ser o ativo a receber maior atenção e quantidade de recursos.

4. CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido utiliza apoio à decisão multicritério, o método ELECTRE TRI, para uma classificação não compensatória dos ativos. O modelo se enquadra no nível estratégico da gestão de ativos, direcionando recursos e determinando o tipo de gestão que cada espécie de ativo classificada deve sofrer.

Com a ajuda de um especialista, conseguiu-se, nesse estudo, uma proposta para classificação dos ativos, de acordo com sua importância relativa, pertencentes a qualquer uma das etapas do setor elétrico. Como critérios, escolhidos pelo especialista, foram utilizados o preço do ativo, o custo do reparo e um critério subjetivo, a importância do ativo para qualidade do serviço.

O modelo demonstrou-se de fácil aplicação e obtenção das informações necessárias. Pode-se facilmente utilizar uma planilha eletrônica para desenvolvimento do modelo, a exemplo do que foi feito neste trabalho. Os resultados da aplicação demonstram que o modelo funciona como esperado, auxiliando ao decisor a tomar uma decisão com um embasamento teórico.

4.1 Limitações

Muito embora o modelo permita tratar de ativos de todas as etapas do setor elétrico, ele possui uma limitação prática de apenas comparar ativos semelhantes ou que sejam da mesma etapa.

Essa limitação ocorre devido à normalização efetuada nos valores dos critérios preço e custo de reparo e à subjetividade da avaliação do desempenho de um ativo no critério importância para qualidade do serviço.

4.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

A avaliação e classificação de ativos é apenas uma parte de um modelo completo de gestão de ativos do setor elétrico. Ainda há muitos componentes a serem desenvolvidos e discutidos, embora pouco se encontre na literatura.

Modelos de escolha da política ótima de manutenção, de minimização de custos de manutenção com a avaliação *on-line* do sistema são exemplos de modelos que se integram diretamente com o modelo proposto neste trabalho.

Há também uma carência na literatura em relação a como é feita a gestão de ativos atualmente no Brasil. Esses estudos podem ser úteis para direcionar os trabalhos da área, melhorando os modelos, já que estes passariam a ter uma base a qual adaptar-se.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-ELANIEN, A.E.B. SALAMA, M.M.A. Asset management techniques for transformers. **Electric Power Systems Research**, v. 80, n. 4, pp. 456-464, 2010.

ALMEIDA, A.T. Métodos Multicritério de Apoio a Decisão. In: _____ (Org.) e RAMOS, F. S. (Org.) **Gestão da Informação** na competitividade das organizações. 2 ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2002. p. 155-185.

ALMEIDA, A.T. **O conhecimento e o uso de métodos multicritérios de apoio a decisão**. 1 ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2010.

BEARDOW, M. **Economics of Asset Management: drawing it together**. Residential School of Electric Power Engineering. Energy Supply Association of Australia, 2003.

BRITO, A.; ALMEIDA A.; MOTA, C. A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory. **European Journal of Operational Research**, v. 200, n. 3, p. 812-821, 2010.

CELG. **Norma Técnica CELG 24 – Isolador Tipo Pino Polimérico** Classes 15 e 36,2 kV. 1. ed. Goiás: Companhia Elétrica de Goiás, 2007.

CRISP, J. J. **Asset Management in Electricity Transmission Enterprises**: Factors that affect Asset Management Policies and Practices of Electricity of Transmission Enterprises and their Impact on Performance. Thesis. Brisbane, Australia: SEEE. Queensland University of Technology, 2004.

DORNAN, D. **GASB 34's Impacts on Infrastructure Management, Financing e Reporting**. Infrastructure Management Group, Inc. White Paper, 2000.

FERREIRA, A. B. (Ed.). **Dicionário AURÉLIO BÁSICO da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1988. Edição exclusiva para o assinante do Jornal do Commercio.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GUSTAVSEN, B.; ROLFSENG, L. Asset management of wood pole utility structures. **International Journal of Electrical Power e Energy Systems**, v. 27, n. 9-10, pp. 641-646, 2005.

HASTINGS, N.A.J. **Asset management and maintenance**. Queensland University of Technology, 2000.

HOSKINS, R. P.; BRINT, A. T.; STRBAC, G. A structured approach to asset management within the electricity industry. **Utilities Policy**, v. 7, n. 4, pp. 221-232, 1998.

IEC. **IEC 60050 – International Electrotechnical Vocabulary**. Disponível em: <http://www.electropedia.org>. Acesso em 13/08/2010.

IEEE. **IEEE Std C37.63 - Standard Requirements for Overhead, Pad-Mounted, Dry-Vault, and Submersible Automatic Line Sectionalizers for AC Systems**. Nova York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2005.

MIRANDA, C.; ALMEIDA, A. Avaliação de pós-graduação com ELECTRE TRI – o caso de engenharias III da capes. **Produção**, v. 13 n.3 p. 101-112, 2003.

MOUSSEAU V.; FIGUEIRA, J.; NAUX J. Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: some experimental results. **European Journal of Operational Research**, v. 130, n. 2, p. 263-275, 2001

MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R. Inferring an ELECTRE TRI model from assignment examples. **Journal of Global Optimization**, v. 12, n. 2, p. 157-174, 1998.

ÖZTÜRK, M; TSOUKIÀS, A. e VINCKE, P. Preference modelling. In: FIGUEIRA, J. (org); GRECO, S (org) e EHRGOTT, M. **Multiple criteria decision analysis** Estados Unidos: Springer Science, 2005. p. 28-60.

PETERSON, S. B. **The Future of Asset Management**. Strategic Asset Management Inc., USA, 2003.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. 1 ed. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 58-69.

SCHNEIDER, J.; GAUL, A.; NEUMANN,C.; HOGRAFÄFER, J.; WELLBOW, W. H.; SCHWAN, M. e SCHNETTLER, A. Asset management techniques. **Electrical Power and Energy Systems** v. 28, n. 9, pp. 643-654, 2006.

SILVA, A. S.; SOUZA, F. C. Métodos de Apoio a Decisão. In: ALMEIDA, A. T. (Org.) e RAMOS, F. S. (Org.) **Gestão da Informação** na competitividade das organizações. 2 ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2002. p. 155-185.

SZAJUBOK, N.; MIRANDA, C.; ALMEIDA, A. Uso do método multicritério ELECTRE TRI para classificação de estoques na construção civil. **Pesquisa Operacional**, v. 26, p. 625-648, 2006.

UFSC. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3 ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Disponível em: <http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia da Pesquisa 3a edicao.pdf>. Acesso em 23/08/2010.

ZELNY, M. The decision process and its stages. In:_____. **Multiple Criteria Decision Making**. 1 ed. Nova Iorque: Mc-Graw Hill, 1982. p. 84-95.