



**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES  
PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

**Isabela Espindola Nanes**

Universidade Federal de Pernambuco  
isabelaespindola@hotmail.com

**Roberto Paulo da Silva Pinto Junior**

Universidade Federal Fluminense  
rpaulojr2@yahoo.com.br

**Carlos Francisco Simões Gomes**

Universidade Federal Fluminense  
cfsg1@bol.com.br

**RESUMO**

Este artigo propõe um novo modelo para a alocação de equipamentos sobressalentes a serem utilizados em linhas de transmissão de energia elétrica, com a utilização de algoritmos heurísticos de ancoragem, e heurística construtiva, pautada na priorização dos equipamentos com maior valor esperado de cobrança de multa por indisponibilidades. Tal proposta objetiva minimizar os custos das empresas proprietárias da linha com a logística de distribuição dos equipamentos, e principalmente com minimização dos custos de cobranças de multas por indisponibilidade; distribuindo os sobressalentes de maneira ótima, o que aumentará a lucratividade da empresa proprietária. Este modelo também pode ser utilizado para definir a melhor localização para ampliações ou construções de novos almoxarifados, dentre hipóteses existentes, pois determina os melhores locais para estocar os equipamentos. O modelo é apresentado um estudo de caso.

**Palavras-chave:** Sobressalentes, alocação, parcela variável, heurística, almoxarifado

# MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo do trabalho é desenvolver um novo modelo de alocação de equipamentos sobressalentes para utilização em empreendimentos de transmissão de energia elétrica, com a utilização de algoritmos heurísticos, de modo a minimizar os custos logísticos de transporte, e reduzir o valor dos descontos nas receitas (parcela variável por indisponibilidade) dos empreendimentos.

Neste artigo é desenvolvido um indicador, denominado de índice de influência da logística na parcela variável, para apresentar o quanto a forma de distribuição dos equipamentos nos almoxarifados e a própria localização e tamanho do almoxarifado, influenciam nos custos que reduzem a lucratividade das empresas proprietária das linhas de transmissão.

Este índice pode ser utilizado em simulações computacionais com objetivo de determinar as melhores localizações e capacidade dos almoxarifados. Pode-se fazer uma análise de sensibilidade ao se variar parâmetros como os de capacidade e de localização dos centros de armazenagem. O setor de energia elétrica no Brasil é formado pelas atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia; as instalações eletricamente interligadas responsáveis pela oferta de energia a todas as regiões do país fazem parte do Sistema Interligado Nacional (SIN), dividido nos subsistemas Sul, Sudeste-Centro-Oeste, Norte e Nordeste (Tozei et al, 2014). (Campos et al, 2014). O modelo desenvolvido é aplicado na forma de estudo de caso.

## 2. PESQUISA NA LITERATURA

Foi realizada uma pesquisa sobre como este problema é solucionado em outros países, e comparada às metodologias utilizadas com as necessidades (realidade) do mercado de transmissão brasileiro.

Amirsaman et al (2012) analisam os custos típicos do sistema de transmissão de energia elétrica dos EUA, tanto os custos fixos quanto os custos variáveis, mas não menciona as multas por indisponibilidades, que são inexistentes no mercado americano.

Os EUA tabelam as probabilidades de falha de cada equipamento e seu tempo de vida útil para planejar a substituição e os custos associados à administração dos equipamentos utilizados (Dolezilek, Rocha, 2011). Não levam em consideração fatores de tempo de deslocamento do centro de armazenagem até o local de utilização dos equipamentos. No Brasil a remuneração do setor de transmissão é feita pela disponibilidade, e a indisponibilidade resulta em multas que são diretamente proporcionais ao tempo de duração da indisponibilidade. É necessária a incorporação de fatores de tempo de deslocamento dos equipamentos sobressalentes, de onde pode-se concluir que o modelo de gestão de sobressalentes utilizado nos EUA não é aplicável ao mercado brasileiro.

Qu et al (2008) apresentam algoritmos de minimização de custos em transmissão de energia elétrica na China, considerando equipamentos sobressalentes. Utilizam estes algoritmos para estudar as possibilidades de expansões futuras do sistema e alterações de configuração nas linhas de transmissão da China, o que não pode ser considerado aplicável ao mercado brasileiro, pois no Brasil expansões e construções de novas linhas de transmissão não são possíveis pela simples decisão da empresa proprietária de uma linha de transmissão. Qu et al (2008) não levam em consideração fatores de armazenagem, deslocamento dos equipamentos sobressalentes e cobranças de multas, uma vez que as empresas de transmissão de energia elétrica na China são todas estatais e não há concorrência entre elas, logo, não há a necessidade de penalizações.

Em países europeus analisados, como Finlândia e Portugal, a transmissão de energia se constitui de um monopólio (Meneses e Pinto, 2011). Nesses países não há concorrência, além

## MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

destes possuem áreas totais muito menores que a área do Brasil, e por esse motivo quilometragem de linhas de transmissão bem inferiores às do Brasil. Logo, os modelos utilizados para armazenagem de equipamentos sobressalentes não são aplicáveis à realidade brasileira.

Em Portugal se objetiva a minimização da indisponibilidade no serviço de transmissão (Meneses, Pinto, 2011) mas não são citadas cobranças de multas por indisponibilidade e em consequência, custos de tempo de transporte de equipamentos sobressalentes.

Nourbakhsh (2011) defende a existências de centros de armazenagem para os equipamentos de distribuição e transmissão de energia, devido ao tempo necessário para aquisição dos mesmos. Ele propõe um algoritmo para a substituição dos equipamentos por sobressalentes de modo a manter a máxima confiabilidade dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Diferentemente deste trabalho, não é priorizada a máxima disponibilidade do sistema e nem são priorizados equipamentos com maiores valores de receita.

Mo (2013) apresenta um sistema onde a gestão de peças de reposição é terceirizada, com o objetivo de baixar os custos. O que ainda não acontece no mercado de transmissão de energia elétrica brasileiro, mas que poderia ser estudado para utilização neste setor no futuro. Machado e Sellitto (2012) descrevem um estudo de caso, explanando como a implantação de um sistema de gerenciamento de centros de armazenagem pode contribuir no aumento da produtividade de uma empresa. Jaarsveld (2013) sugere que o controle dos sobressalentes estocados em almoxarifados deve ser do setor de manutenção. Este conceito é aplicável no presente artigo, pois facilitaria a aplicação do modelo desenvolvido.

Santos et al (2012) propõe um modelo de programação inteira para obter uma configuração ótima quanto ao atendimento da alocação, transporte e distribuição de gêneros frigorificados da Marinha do Brasil.

Seidscher e Minner (2013) estudam uma redução de custos através do transporte de materiais entre almoxarifados, o que neste trabalho seria aplicável somente no período de implantação do sistema. Após a aplicação não ocorre mais alteração da localização do sobressalente entre os almoxarifados. Mestria (2013) propõe um novo modelo heurístico para o problema do caixeiro viajante.

Godoy et al (2013) apresentam um método de apoio à decisão em casos de reposição de equipamentos sobressalentes para aumentar a disponibilidade, confiabilidade e desempenho do sistema. O modelo não se aplica ao artigo, pois não prioriza equipamentos, como no caso deste estudo.

Com a revisão da literatura foi possível observar que o problema de alocação de materiais sobressalentes de equipamentos para utilização em linhas de transmissão no mercado brasileiro é um problema único no mundo, pois as peculiaridades do mercado de transmissão de energia elétrica do Brasil são muito diferentes dos mercados de transmissão de energia nos demais países. O Brasil apresenta os aspectos de: grande extensão territorial com a necessidade de linhas de transmissão cruzando o país, competição no mercado de transmissão; remuneração apenas pela disponibilidade das instalações, e multas por indisponibilidade do serviço em função do tempo de duração do desligamento da linha.

Em um sistema predominantemente hidrelétrico como o brasileiro, as linhas de transmissão exercem um papel fundamental de interligação e remanejamento de recursos hídricos. Dessa forma, pode-se dizer que os investimentos em novas linhas de transmissão equivalem a "usinas virtuais", já que o transporte de energia de um lugar para outro pode substituir a necessidade de construção de novas usinas (Rocha et al 2013).

A expansão do sistema de transporte de energia elétrica requer a construção de novas linhas de transmissão e distribuição de energia, as quais são empreendimentos de infraestrutura básica, necessários ao desenvolvimento regional, e que atendem à cadeia produtiva e econômica

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

(Campos, Elmiro, 2014). Bubicz et al (2014) salientam que a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica estão diretamente relacionados à sustentabilidade e à eficiência. A racionalização do uso da energia elétrica é importante elemento em políticas de redução de emissão de carbono. Sendo assim os modelos utilizados nos outros países não podem ser aplicados ao Brasil. A Tabela 1, fruto da revisão bibliográfica, demonstra a diferença entre os mercados de transmissão de energia elétrica nos países analisados.

Tabela 1 – Diferenças entre os Mercados de Transmissão de Energia Elétrica

Característica	País					
	Brasil	EUA	Canadá	Portugal	Finlândia	China
Grande extensão territorial com a necessidade de linhas de transmissão cruzando o país	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
Competição no mercado de transmissão	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Remuneração apenas pela disponibilidade das instalações	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Multas por indisponibilidade do serviço em função do tempo de duração do desligamento da linha	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: autores, consultando artigos mencionados na referência bibliográfica.

### 3. CONSTRUÇÃO DO MODELO

O modelo proposto calcula o valor esperado de parcela variável de todas as funções transmissão. Após este cálculo, ranqueia-se as funções transmissão da companhia analisada, de modo a priorizar a armazenagem dos equipamentos com maior valor esperado de parcela variável mais próximos aos locais de utilização. Busca-se assim que seja reduzido o tempo de transporte e logo o valor da parcela variável decorrente da armazenagem e do transporte, reduzindo os custos totais e aumentando os lucros dos proprietários das linhas de transmissão. O valor esperado de parcela variável é o ponto de partida do modelo desenvolvido, desta forma, seu cálculo consiste na aplicação da heurística de ancoragem que dará a cada equipamento seu valor individual e permitirá o ranqueamento dos equipamentos em função do valor encontrado.

O cálculo do valor esperado de parcela variável das funções transmissão é feito utilizando os tempos médios mensais de parada programada e de outras paradas. Em um determinado período de meses, esses valores médios de parada programada ou não devem ser utilizados nos cálculos do valor de parcela variável por minuto. Valor esperado de parcela variável para cada função transmissão, dependendo dos valores de números de desligamentos. O  $E'(pv)$  está descrito na equação 1.,

$$E'(pv) = \frac{PB}{43200} K_p \left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{dp}} DP_i}{n_{meses}} \right) + \frac{PB}{43200} K_o \left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{do}} DO_i}{n_{meses}} \right) \quad (1)$$

Para:  $n_{meses} > 0$

## MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Onde:

PB é o pagamento base (receita). O valor de 43200 é a multiplicação do valor de 1440 pelo número médio de dias dos meses, que é 30.  $K_p$  é o fator de desligamento programado de cada função transmissão.  $K_o$  é o fator para outros desligamentos de cada função transmissão. DP é a duração da parada programada em minutos. DO é a duração das outras paradas em minutos.  $n_{DP}$  é o número de desligamentos programados no período analisado.  $n_{DO}$  é o número de outros desligamentos no período analisado.  $n_{meses}$  é o número de meses no período compreendido, e  $i$  é o número de desligamentos.

A empresa deve ranquear os valores esperados de parcelas variáveis; e ter os valores calculados para cada função transmissão analisada, com o propósito de priorizar as funções transmissão que tiverem maior valor esperado na distribuição de seus sobressalentes.

Se utilizará o conceito de heurística construtiva, pois dada a sequência dos equipamentos em função do valor esperado de parcela variável e logo de sua importância. Os equipamentos irão ser alocados em ordem de importância nos centros mais próximos ou que tendam a resultar em menores multas, depois que o primeiro equipamento é armazenado. A oferta de locais para novas armazenagens decorre de uma alocação sequencial respeitando a prioridade. Cada equipamento a ser escolhido para alocação possui uma variedade de “diferentes” locais para ser armazenado. Deverá ser armazenado no local disponível que gere a menor penalização por multa possível dentre as possibilidades viáveis na ocasião de sua localização. E assim sucessivamente será feito até o último equipamento.

A classe de importância dos equipamentos se dará em função de valor esperado de parcela variável de sua função de transmissão. O número de classes de equipamentos será o mesmo número de funções transmissão. Todos os equipamentos reservas ou sobressalentes que fizerem parte de uma determinada função transmissão, serão do mesmo grupo de importância. A importância do grupo de equipamentos se dará pelo valor esperado de parcela variável que a sua função transmissão irá possuir, sendo mais importante a função transmissão com maior valor esperado de parcela variável e a menos importante a que possuir menor valor esperado de parcela variável.

A área destinada à armazenagem nas subestações é limitada, e algumas vezes inexistente, logo, ela deve ser alocada em outro local, de maneira que chegue o mais rápido possível. Este novo local proposto pode ser outra subestação ou um centro próprio para armazenagem. A empresa deve dispor de uma matriz de distâncias entre seus almoxarifados (os localizados em subestações e os que somente são centros de armazenagem).

A função da linha de transmissão é a única função que não fica totalmente dentro de uma subestação, esta função interliga duas subestações. Como podem ocorrer falhas ao longo de toda a linha de transmissão, os equipamentos da função linha de transmissão são divididos em dois pontos de análise, que são as duas subestações interligadas. Desta forma, os equipamentos das funções transmissão da linha de transmissão, para efeito de cálculo, são divididas ao meio e ter seus sobressalentes armazenados metade em cada uma das subestações que as ligam. Calcula-se as áreas disponíveis de armazenagem de todas as subestações e almoxarifados disponíveis, assim como a área necessária para a armazenagem de todos os equipamentos integrantes das funções transmissão.

O custo de transporte dos equipamentos deve ser levantado, com precisão, pois são muitos diferentes. Estes levam em consideração a distância percorrida, o peso dos equipamentos, e o volume.

Os equipamentos sobressalentes são alocados nos locais mais próximos possíveis da utilização de tais equipamentos, indo do equipamento com maior valor esperado de parcela

## MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

variável até o de menor valor, dentro da disponibilidade de espaço do local de armazenagem. Quando um local chega no limite, passa-se para o próximo local de armazenagem disponível. Após a alocação das funções transmissão em seus respectivos almoxarifados, calcula-se o tempo que o material leva do almoxarifado até o local de utilização, este tempo será utilizado no cálculo do índice de influência da logística na parcela variável, cujo objetivo deve ser minimizado. O cálculo do valor monetário é o mesmo dos cálculos de parcela variável definidas neste artigo, utilizando o tempo de deslocamento como tempo de indisponibilidade. Para estes cálculos, são considerados os tempos médios de desligamentos programados e de outros desligamentos.

São considerados no estudo os custos de transporte dos equipamentos integrantes da parcela variável e o custo de armazenagem.

Os índices de influência da logística na parcela variável de cada função transmissão da empresa são somados, para obter-se o índice geral da companhia. Este índice deve ser dividido pelo somatório dos valores máximos possíveis de parcela variável em função do tempo de transporte, dos valores máximos possíveis de custos de transporte e dos valores máximos de custo de armazenagem, o que seria obtido quando os equipamentos sobressalentes fossem alocados justamente nos locais mais distantes possíveis do local de utilização.

Desta forma, o índice é apresentado de uma forma percentual, conforme a equação 2, que calcula o valor de  $I =$  Índice de Influência da Logística na Parcela Variável.

$$I = 100\% \left( \frac{I_{MIN}}{I_{MAX}} \right) \quad (2)$$

Onde:

$I_{MIN}$  é o menor somatório possível da empresa analisada, mais o menor somatório possível do custo de transporte da empresa analisada, mais o menor somatório possível do custo de transporte da empresa analisada.  $I_{MAX}$  é o maior somatório possível da empresa analisada, mais o maior somatório possível do custo de transporte da empresa analisada, mais o maior somatório possível do custo de transporte da empresa analisada.

Também deve ser calculado o índice de utilização dos almoxarifados, que consta do nível percentual ao qual cada almoxarifado é utilizado. Este índice será utilizado para saber-s qual almoxarifado deve ser ampliado ou reduzido, e os melhores locais para construção de novos almoxarifados. As simulações podem ser utilizadas para testar diversas situações diferentes de utilização de alocação de sobressalentes.

Para minimizar os custos de armazenagem, os almoxarifados com nível de utilização ótimo inferior a 100% devem ser reduzidos até que se chegue neste índice, já para os almoxarifados com níveis de utilização ótimo de 100%, devem ser simuladas situações com aumento do almoxarifado, pois isto pode demonstrar que materiais alocados em outros almoxarifados podem ser alocados neste almoxarifado no caso de ampliações, de modo a minimizar os custos.

Deste modo, os custos de armazenagem terão um valor real (o valor do custo dos almoxarifados existentes) e será determinado o valor ótimo (utilização do valor percentual mínimo necessário).

O cálculo do índice de influência da logística na parcela variável é representada na equação 3, de forma expandida. Este índice utiliza uma base de tempo mensal.

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA  
UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

$$I = 100\% \cdot \left\{ \frac{\sum_{i=0}^n \left[ \left( \frac{n_{DP_i} + n_{DO_i}}{n_{meses}} \right) PV'_{TT} \right] + \sum_{i=0}^n \left[ \left( \frac{n_{DP_i} + n_{DO_i}}{n_{meses}} \right) C_t \right] + \sum_{i=0}^{n_a} C_{AO_i}}{\sum_{i=0}^n \left[ \left( \frac{n_{DP_i} + n_{DO_i}}{n_{meses}} \right) PV'_{TT-\max} \right] + \sum_{i=0}^n \left[ \left( \frac{n_{DP_i} + n_{DO_i}}{n_{meses}} \right) C_{t-\max} \right] + \sum_{i=0}^{n_a} C_{AO_i, \max}} \right\} \quad (3)$$

Para:  $n_{meses} > 0$ . Onde:

$PV_{TT}$  é o valor estimado de parcela variável em função do tempo de transporte obtido,  $C_t$  é o custo de transporte obtido,  $C_{AO}$  é o custo de armazenagem e de pedido mensal obtido,  $PV_{TT-\max}$  é o valor máximo possível de parcela variável em função do tempo de transporte,  $C_{t-\max}$  é o custo de transporte máximo possível,  $C_{AO-\max}$  é o custo de armazenagem e de pedido mensal máximo possível,  $n$  é o número de funções transmissão,  $n_a$  é o número de almoxarifados,  $N_{DP}$  é o número de paradas programadas no período compreendido,  $N_{DO}$  é o número de outras paradas no período compreendido,  $N_{meses}$  é o número de meses do período analisado,  $e_i$  é o número de desligamentos.

O valor da parcela variável ( $PV_{TT}$ ) em função do tempo de transporte é calculado pela equação 4.

$$PV'_{TT} = \frac{PB}{43200} K_p \cdot \frac{S}{V_m} \frac{\left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{DP}} DP_i}{n_{meses}} \right)}{\left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{DP}} DP_i}{n_{meses}} \right) + \left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{DO}} DO_i}{n_{meses}} \right)} + \frac{PB}{43200} K_o \cdot \frac{S}{V_m} \frac{\left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{DO}} DO_i}{n_{meses}} \right)}{\left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{DP}} DP_i}{n_{meses}} \right) + \left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{DO}} DO_i}{n_{meses}} \right)} \quad (4)$$

Onde:

$PB$  é o pagamento base (receita),

$K_p$  é o fator de desligamento programado de cada função transmissão,

$K_o$  é o fator para outros desligamentos de cada função transmissão,

$DP$  é a duração da parada programada,

$DO$  é a duração das outras paradas,

$N_{DP}$  é o número de desligamentos programados no período analisado,

$N_{DO}$  é o número de outros desligamentos no período analisado,

$V_m$  é a velocidade média no qual o equipamento é transportado do local de armazenagem até o local de utilização,

$S$  é a distância entre o local de armazenagem e o local de utilização do material,

$n_{meses}$  é o número de meses no período compreendido, e

$i$  é o número de desligamentos.

O custo de armazenagem ( $C_{AO}$ ) e de pedido é descrito na equação 5.

## MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

$$C_{AO} = CA + CP \quad (5)$$

Onde:  $C_{AO}$  é o custo de armazenagem e de pedido, CA é o custo de armazenagem, e CP é o custo do pedido.

Custo do pedido (CP) é descrito na equação 6:

$$CP = MO + Ma + CI \quad (6)$$

Onde

MO = Custo de mão de obra – Salário e encargos do pessoal envolvido, Ma = Custo com material – Papel, caneta, material de informática, etc.,

CI = Custos indiretos – Telefone, luz, correio, servidor de internet, custa da área ocupada, e etc.

O custo de armazenagem ( $C_{AO}$ ) e de pedido (CP) é explicitada na equação 7.

$$C_{AO} = \frac{Q}{2} \cdot T \cdot P \cdot \left( \frac{\text{Lucro} + \text{Perdas\_Mensais} + \text{Perdas\_obsolescência} + \text{depreciação}}{\text{Valor} - \text{Estoque}} + \frac{\text{custo\_do\_seguro}}{\text{valor\_estoque} + \text{edifícios}} + \frac{S \cdot A}{C \cdot P} \right) + MO + Ca + CI \quad (7)$$

Onde:

Q = quantidade de material em estoque no tempo considerado; P = preço unitário; T = tempo considerado de armazenagem; S = Área ocupada pelo estoque; A = custo do m<sup>2</sup> de armazenamento,

C = Consumo mensal,

MO = Custo de mão de obra – Salário e encargos do pessoal envolvido; Ca = Custo com material – Papel, caneta, material de informática, etc.,

CI = Custos indiretos – Telefone, luz, correio, servidor de internet, custa da área ocupada, e etc.

Os equipamentos integrantes das funções transmissão devem ser armazenados em local abrigado (com telhado), exceto os equipamentos da função transmissão linha de transmissão, que não só podem, mas como também é recomendável, que fiquem armazenados em local desabrigado (ao tempo).

O peso estimado dos equipamentos integrantes das funções transmissão é um dado importante para calcular-se os custos de transporte, que é função do peso do equipamento, da área que o equipamento ocupa e da distância transportada.

A área que os equipamentos integrantes das funções transmissão ocupa é outro dado essencial para a análise, pois a partir dele pode-se avaliar a área necessária para utilização nos almoxarifados, tal informação também é utilizada no cálculo do custo de transporte. O peso e a área dos equipamentos das funções transmissão podem ser determinados de maneira direta, exceto para a função transmissão linha de transmissão, onde estes valores devem ser calculados.

Para se determinar o peso e a área necessária para armazenagem dos equipamentos da função transmissão linha de transmissão se deve levar em consideração o comprimento da linha. Cada subestação que liga a linha de transmissão fica responsável (a princípio) pela armazenagem de metade dos equipamentos da linha de transmissão, assim, dividi-se a linha em dois pontos e centralizamos as cargas nas extremidades.

A carga das funções transmissão não é fracionável, a não ser o da função transmissão da linha de transmissão, ou seja, a estocagem e transporte dos equipamentos da função transmissão

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

linha de transmissão pode ser realizada de forma separada e em locais diferentes, o mesmo não acontece para as outras funções transmissão.

A equação 8 calcula o Índice de Influência da Logística na Parcela Variável (função das equações, 1 a 7, anteriormente explicitadas).

$$I = 100\% \cdot \left\{ \frac{\sum_{i=0}^n \left[ \left( \frac{n_{DP} + n_{DO}}{n_{meses}} \right) \cdot \frac{PB}{43200} \cdot \frac{S}{V_m} \cdot \frac{\left( K_p \cdot \sum_{i=0}^{n_{DP}} DP_i + K_o \cdot \sum_{i=0}^{n_{DO}} DO_i \right)}{\sum_{i=0}^{n_{DP}} DP_i + \sum_{i=0}^{n_{DO}} DO_i} \right] + \sum_{i=0}^n \left[ \left( \frac{n_{DP} + n_{DO}}{n_{meses}} \right) C_t \right] + \sum_{i=0}^{n_a} C_{AO_i}}{\sum_{i=0}^n \left[ \left( \frac{n_{DP} + n_{DO}}{n_{meses}} \right) \cdot \frac{PB}{43200} \cdot \frac{S_{max}}{V_m} \cdot \frac{\left( K_p \cdot \sum_{i=0}^{n_{DP}} DP_i + K_o \cdot \sum_{i=0}^{n_{DO}} DO_i \right)}{\sum_{i=0}^{n_{DP}} DP_i + \sum_{i=0}^{n_{DO}} DO_i} \right] + \sum_{i=0}^n \left[ \left( \frac{n_{DP} + n_{DO}}{n_{meses}} \right) C_{t-max} \right] + \sum_{i=0}^{n_a} C_{AO_i, max}} \right\} \quad (8)$$

Para:

$$n_{meses}, V_m, \sum_{i=0}^{n_{DP}} DP_i + \sum_{i=0}^{n_{DO}} DO_i > 0$$

Onde:

PB é o pagamento base (receita),

$K_p$  é o fator de desligamento programado de cada função transmissão.  $K_o$  é o fator para outros desligamentos de cada função transmissão. DP é a duração da parada programada. DO é a duração das outras paradas.  $n_{DP}$  é o número de desligamentos programados no período analisado.  $n_{DO}$  é o número de outros desligamentos no período analisado.  $V_m$  é a velocidade média no qual o equipamento é transportado do local de armazenagem até o local de utilização. S é a distância entre o local de armazenagem e o local de utilização do material.  $S_{max}$  é a distância entre o local de armazenagem mais distante possível e o local de utilização do material.  $n_{meses}$  é o número de meses no período compreendido.  $C_t$  é o custo de transporte do material.  $C_{AO}$  é o custo de armazenagem e de pedido real.  $C_{t-max}$  é o custo de transporte do material máximo possível.  $C_{AO-max}$  é o custo de armazenagem e de pedido máximo possível. n é o número de funções transmissão. i é o número de desligamentos.  $n_a$  é o número de almoxarifados.

#### 4. ESTUDO DE CASO

Na Tabela 2 são descritos o pagamento base (as receitas mensais) e a localização de cada função transmissão de uma companhia de transmissão de energia elétrica. Observação: BC é banco de capacitor; CSE é compensação em série; REA é Reator; TR é transformação; LT é linha de transmissão.

Tabela 2 – Funções Transmissão da Empresa

Função de Transmissão	Nível de Tensão (kV)	Subestação	Número do Equipamento	Localidade	Pagamento Base (R\$)
BC	13,8	S1	BC6	RJ	15343,3
BC	13,8	S4	BC4	ES	3066,16
BC	13,8	S4	BC6	ES	3085,51
BC	13,8	S4	BC10	ES	13414,24

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA  
UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

BC	13,8	S4	BC11	ES	13414,24
BC	13,8	S4	BC12	ES	13414,24
BC	13,8	S5	BC1	DF	4599,3
BC	13,8	S5	BC2	DF	4599,84
BC	345	S1	BC10	RJ	47975,08
BC	345	S2	BC4	MG	60090,76
BC	345	S3	BC6	SP	244497,35
CSE		S6	CS1	DF	61404,84
CSE		S3	CS1	SP	423021,42
REA	13,8	S12	RT2	MG	3675,13
REA	345	S11	RT6	RJ	60694,05
REA	345	S9	RT1	MG	202179,92
TR	230/34,5	S6	TR2	DF	36320,86
TR	345/138	S13	TR3	MG	39237,9
TR	345/138	S14	TR11	MG	69559,12
TR	345/138	S15	TR4	MG	85313,43
TR	345/138	S4	TR4	ES	475600,1
TR	500/138	S16	TR58	RJ	167193,68
TR	500/138	S17	TR14	RJ	209295,12
LT	345KV	S4/S2		ES/MG	3085751,98
LT	345KV	S7/S5		GO/DF	697336,48
LT	345KV	S8/S9		MG	546334,16
LT	765KV	S10/S3		SP	1739608,86
LT	345KV	S1/S6		RJ/DF	6171503,98
LT	345KV	S11/S12		RJ/MG	3702902,38
LT	765KV	S13/S14		MG	382433,92
LT	345KV	S16/S17		RJ	332717,5
LT	345KV	S15/S16		MG/RJ	149722,88

A partir do histórico de parcela variável paga por cada função transmissão se pode determinar o valor esperado de parcela variável a ser paga por cada função transmissão. Calculando-se os valores médios de tempos de desligamento programado e o de outros desligamentos; calcula-se o valor esperado com as equações estabelecidas neste artigo (Equações 1 a 8).

A Tabela 3 apresenta as médias de tempos de desligamento de um período histórico das funções transmissão da companhia, a partir destes valores, é possível calcular o valor esperado de parcela variável das funções transmissão da empresa.

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Tabela 3 – Tempos de Desligamentos Programados e de Outros Desligamentos das Funções Transmissão

Função de Transmissão	Subestação	Número do Equipamento	Pagamento Base (R\$)	Tempo Médio de Desligamento (min)		Kp	Kq	E'(PV)
				Programado	Outros			
BC	S1	BC6	15343,30		6	5	100	213,00
BC	S4	BC4	3066,16	103		5	100	36,55
BC	S4	BC6	3085,51		638	5	100	4554,73
BC	S4	BC10	13414,24		1940	5	100	60212,01
BC	S4	BC11	13414,24	14	1940	5	100	60233,75
BC	S4	BC12	13414,24		1800	5	100	55866,82
BC	S5	BC1	4599,30		112787	5	100	1200233,83
BC	S5	BC2	4599,84		238	5	100	2533,00
BC	S1	BC10	47975,08	199		5	100	1104,98
BC	S2	BC4	60090,76	106	5	5	100	1432,40
BC	S3	BC6	244497,35		6	5	100	3394,23
CSE	S6	CSE1	61404,84		50	7,5	150	10655,63
CSE	S3	CSE1	423021,42	45	199	7,5	150	295465,64
REA	S12	REA2	3675,13		1429	10	150	18226,86
REA	S11	REA6	60694,05		114	10	150	24013,61
REA	S9	REA1	202179,92		134	10	150	94026,30
TR	S6	TR2	36320,86		249	10	150	31387,88
TR	S13	TR3	39237,90	60		10	150	544,97
TR	S14	TR11	69559,12	1810		10	150	29143,98
TR	S15	TR4	85313,43	42		10	150	829,44
TR	S4	TR4	475600,10	172		10	150	18935,93
TR	S16	TR58	167193,68	45		10	150	1741,60
TR	S17	TR14	209295,12		58	10	150	42130,21
LT	S4		1542875,99		56	10	150	299864,84
LT	S2		1542875,99		56	10	150	299864,84
LT	S7		348668,24	14	98	10	150	119719,09
LT	S5		348668,24	14	98	10	150	119719,09
LT	S8		273167,08		45	10	150	42662,61
LT	S9		273167,08		45	10	150	42662,61
LT	S10		869804,43		3675	10	150	11093930,89
LT	S3		869804,43		3675	10	150	11093930,89
LT	S1		3085751,99		83	10	150	888885,06
LT	S6		3085751,99		83	10	150	888885,06
LT	S11		1851451,19		67	10	150	430520,23
LT	S12		1851451,19		67	10	150	430520,23
LT	S13		191216,96		47	10	150	31191,10
LT	S14		191216,96		47	10	150	31191,10
LT	S16		166358,75	30	75	10	150	44457,81
LT	S17		166358,75	30	75	10	150	44457,81
LT	S15		74861,44		112	10	150	29099,31
LT	S16		74861,44		112	10	150	29099,31

O número de desligamentos programados e de outros é apresentado na Tabela 4, para o período analisado, que no caso foi de 12 meses.

Tabela 4 – Totais de números de Desligamentos Programados e de Outros Desligamento para Cada Função Transmissão

Função de Transmissão	Subestação	Número	Total de DP no Ano	Total de OD no Ano
BC	S1	BC6	0	1
BC	S4	BC4	3	0
BC	S4	BC6	0	10
BC	S4	BC10	0	15
BC	S4	BC11	2	15

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA  
UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

BC	S4	BC12	0	12
BC	S5	BC1	0	30
BC	S5	BC2	0	3
BC	S1	BC10	4	0
BC	S2	BC4	3	1
BC	S3	BC6	0	2
CSE	S6	CSE1	0	16
CSE	S3	CSE1	15	66
REA	S12	REA2	0	476
REA	S11	REA6	0	38
REA	S9	REA1	0	44
TR	S6	TR2	0	83
TR	S13	TR3	20	0
TR	S14	TR11	300	0
TR	S15	TR4	14	0
TR	S4	TR4	57	0
TR	S16	TR58	15	0
TR	S17	TR14	0	19
LT	S4		0	18
LT	S2		0	18
LT	S7		4	32
LT	S5		4	32
LT	S8		0	15
LT	S9		0	15
LT	S10		0	500
LT	S3		0	600
LT	S1		0	30
LT	S6		0	27
LT	S11		0	22
LT	S12		0	22
LT	S13		0	15
LT	S14		0	15
LT	S16		10	25
LT	S17		10	25
LT	S15		0	37
LT	S16		0	37

A Tabela 5 mostra a ordenação as funções transmissão  $E'(PV)$ , dando prioridade as funções com maior valor esperado de parcela variável. O calculo é feitoa partir da aplicação dos dados das Tabelas 1 a 4 na Equação 1.

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA  
UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Tabela 5 – Ranqueamento de Prioridades das Funções Transmissão

<b>Função de Transmissão</b>	<b>Subestação</b>	<b>Número do Equipamento</b>	<b>E'(PV)</b>	<b>Prioridade</b>
LT	S10		11093930,89	1
LT	S3		11093930,89	2
BC	S5	BC1	1200233,83	3
LT	S1		888885,06	4
LT	S6		888885,06	5
LT	S11		430520,23	6
LT	S12		430520,23	7
LT	S4		299864,84	8
LT	S2		299864,84	9
CSE	S3	CSE1	295465,64	10
LT	S7		119719,09	11
LT	S5		119719,09	12
REA	S9	REA1	94026,30	13
BC	S4	BC11	60233,75	14
BC	S4	BC10	60212,01	15
BC	S4	BC12	55866,82	16
LT	S16		44457,81	17
LT	S17		44457,81	18
LT	S8		42662,61	19
LT	S9		42662,61	20
TR	S17	TR14	42130,21	21
TR	S6	TR2	31387,88	22
LT	S13		31191,10	23
LT	S14		31191,10	24
TR	S14	TR11	29143,98	25
LT	S15		29099,31	26
LT	S16		29099,31	27
REA	S11	REA6	24013,61	28
TR	S4	TR4	18935,93	29
REA	S12	REA2	18226,86	30
CSE	S6	CSE1	10655,63	31
BC	S4	BC6	4554,73	32
BC	S3	BC6	3394,23	33
BC	S5	BC2	2533,00	34
TR	S16	TR58	1741,60	35
BC	S2	BC4	1432,40	36
BC	S1	BC10	1104,98	37
TR	S15	TR4	829,44	38
TR	S13	TR3	544,97	39
BC	S1	BC6	213,00	40
BC	S4	BC4	36,55	41

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

São calculadas as distâncias entre os almoxarifados das subestações e o almoxarifado central da empresa para que se possa calcular o valor do transporte, estes valores são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Distâncias entre os Centros de Armazenagem em Quilômetros

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	A
S1	-	878	410	565	1168	1145	1158	685	428	724	334	888	460	854	488	163	37	489
S2	878	-	200	1040	640	625	435	450	670	636	1135	118	258	289	430	885	880	410
S3	410	200	-	990	1095	1072	910	578	400	395	740	625	700	533	390	360	425	200
S4	565	1040	990	-	1240	1217	1270	884	800	1205	200	1238	1112	1050	956	572	553	965
S5	1165	640	1095	1240	-	11	380	809	1145	1175	1250	644	1230	745	930	1255	1155	935
S6	1145	625	1072	1217	11	-	357	786	1122	1162	1227	621	1204	722	907	1232	1132	912
S7	1158	435	910	1270	380	357	-	570	915	960	1282	430	1022	498	686	1100	1170	700
S8	685	450	578	884	809	786	570	-	303	570	855	380	649	145	220	515	674	324
S9	428	670	400	800	1145	1122	915	303	-	765	600	750	449	495	310	510	412	408
S10	724	636	395	1205	1175	1162	960	570	765	-	1045	530	444	530	495	680	754	360
S11	334	1135	740	200	1250	1227	1282	855	600	1045	-	1188	831	1060	810	520	321	780
S12	888	118	625	1238	644	621	430	380	750	530	1188	-	702	340	430	930	907	425
S13	460	258	700	1112	1230	1204	1022	649	449	444	831	702	-	599	438	404	477	225
S14	854	289	533	1050	745	722	498	145	495	530	106	340	599	-	425	815	867	385
S15	488	430	390	956	30	907	686	220	310	495	810	430	438	425	-	575	506	176
S16	163	885	360	572	1255	1232	1100	515	510	680	520	930	404	815	575	-	220	437
S17	37	880	425	553	1155	1132	1170	674	412	754	321	907	477	867	506	220	-	502
A	489	410	200	965	935	912	700	324	408	360	780	425	225	385	176	437	502	-

A tabela 7 apresenta uma estimativa de valores de transporte de materiais componentes das funções transmissão do setor elétrico. Esta tabela é importante para se calcular o valor do transporte do local de armazenagem até o local de utilização, este valor depende ainda do peso dos equipamentos.

Tabela 7 – Valores de Transporte dos Equipamentos Integrantes das Funções Transmissão

Distância (km)	Valor do Transporte (R\$) para as Seguintes Faixas de Toneladas						
	25 – 30	30 – 50	50 – 60	60 – 80	80 – 100	100 – 134	134 – 170
0 - 50	14.700,00	17.250,00	18.150,00	20.400,00	119.000,00	129.100,00	129.100,00
50 - 200	15.300,00	18.000,00	19.000,00	21.300,00	101.000,00	116.400,00	116.400,00
200 - 400	17.900,00	21.400,00	22.700,00	25.600,00	104.000,00	122.400,00	122.400,00
400 - 600	19.900,00	23.900,00	25.350,00	28.400,00	108.000,00	128.100,00	128.100,00
600 - 800	21.400,00	25.900,00	27.700,00	31.100,00	114.000,00	136.400,00	136.400,00
800 - 1000	25.700,00	31.400,00	33.500,00	37.600,00	174.000,00	215.000,00	215.000,00
1000 - 1500	31.900,00	39.250,00	42.000,00	47.100,00	202.000,00	252.000,00	252.000,00
1500 - 2000	37.100,00	46.000,00	49.400,00	55.400,00	235.000,00	296.100,00	296.100,00
2000 - 2500	43.100,00	53.700,00	58.700,00	65.800,00	288.000,00	365.600,00	365.600,00

Para se calcular o valor do transporte, é necessário ter o peso estimado dos equipamentos integrantes das funções transmissão, estes valores são expressos na tabela 8, exceto para os equipamentos integrantes da função transmissão linha de transmissão, cujo valores são expresso

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA  
UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

na tabela 9. A tabela 8 informa a área de armazenagem média que cada grupo de equipamentos de cada função transmissão ocupa (exceto linha de transmissão), estes valores são necessários para se calcular a área de almoxarifado destinado a reserva de tais equipamentos.

Tabela 8 – Valores de Peso e Área Ocupada dos Equipamentos das Funções Transmissão, Exceto Linha de Transmissão

Função Transmissão	Subestação	Número do Equipamento	Nível de Tensão (kV)	Peso (Ton)	Área (m <sup>2</sup> )
BC	S1	BC6	13,8	100	40
BC	S4	BC4	13,8	100	40
BC	S4	BC6	13,8	100	40
BC	S4	BC10	13,8	100	40
BC	S4	BC11	13,8	100	40
BC	S4	BC12	13,8	100	40
BC	S5	BC1	13,8	100	40
BC	S5	BC2	13,8	100	40
BC	S1	BC10	345	100	40
BC	S2	BC4	345	100	40
BC	S3	BC6	345	100	40
CSE	S6	CSE1		80	20
CSE	S3	CSE1		80	20
REA	S12	REA2	13,8	70	20
REA	S11	REA6	345	120	25
REA	S9	REA1	345	120	25
TR	S6	TR2	230/34,5	134	30
TR	S13	TR3	345/138	164	60
TR	S14	TR11	345/138	164	60
TR	S15	TR4	345/138	164	60
TR	S4	TR4	345/138	164	60
TR	S16	TR58	500/138	164	60
TR	S17	TR14	500/138	164	60

Tabela 9 – Valores de Peso e Área Ocupada dos Equipamentos das Funções Transmissão Linha de Transmissão

Subestação de Partida	Comprimento da Linha (km)	Distância Entre Torres (km)	Peso Unitário (Ton)	Área Unitária	Peso Total (Ton)	Área Total (m <sup>2</sup> )
S4	1040	0,05	2	25	20800	260000
S2	1040	0,05	2	25	20800	260000
S7	380	0,05	2	25	7600	95000
S5	380	0,05	2	25	7600	95000
S8	303	0,05	2	25	6060	75750
S9	303	0,05	2	25	6060	75750
S10	395	0,05	2	25	7900	98750
S3	395	0,05	2	25	7900	98750
S1	1145	0,05	2	25	22900	286250
S6	1145	0,05	2	25	22900	286250
S11	1188	0,05	2	25	23760	297000
S12	1188	0,05	2	25	23760	297000
S13	599	0,05	2	25	11980	149750
S14	599	0,05	2	25	11980	149750
S16 (S17)	220	0,05	2	25	4400	55000

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

S17	220	0,05	2	25	4400	55000
S15	575	0,05	2	25	11500	143750
S16 (S15)	575	0,05	2	25	11500	143750

As áreas disponíveis para armazenamento em cada almoxarifado são apresentadas na tabela 9. As funções transmissão ficam em local abrigado, exceto os equipamentos da função transmissão linha de transmissão.

Tabela 10 – Áreas de Armazenagem e o custo de m<sup>2</sup> nos Almoxarifados

Centro de Armazenagem	Área Disponível (m <sup>2</sup> )		Custo (R\$/m <sup>2</sup> ) mês	
	Área Abrigada	Área Desabrigada	Área Abrigada	Área Desabrigada
S1	145	442100	20,1	6,8
S2	227	385800	15,44	3,69
S3	228	303700	12,53	5,02
S4	114	518800	10,79	3,63
S5	210	54280	13,91	5,83
S6	149	451800	11,41	6,68
S7	211	296400	12,11	3,77
S8	102	667300	19,21	4
S9	207	491100	20,39	4,19
S10	166	604400	19,89	3,72
S11	233	35920	19,9	3,71
S12	226	64570	13,77	6
S13	116	401400	12,71	3,58
S14	211	595500	15,89	5,18
S15	126	55940	12,34	4,23
S16	236	29940	20,75	4,77
S17	171	66140	12,54	5,01
A	833	108580	9,16	3,56

Após alocar os equipamentos em seus locais, através da heurística desenvolvida, pode-se verificar as áreas utilizadas de cada almoxarifado e calcular seus custos de utilização. Conforme apresentado nas tabelas 10 e 11. Nas tabelas 12, 13 e 14, é possível observar os sobressalentes de equipamentos que estão alocados em locais diferentes de sua utilização, o que irá gerar custos de parcela variável durante o tempo de transporte e também os próprios custos de transporte.

Tabela 11 – Custo de Armazenagem da Função Transmissão Linha de Transmissão

Centro de Armazenagem	Área Desabrigada Disponível	Área Desabrigada Utilizada	Taxa de Utilização %	Custo de Armaz. Desabrigada (R\$)
S1	442100	442100	100,00	1776424
S2	385800	385800	100,00	1514885
S3	303700	209480	68,98	1179788
S4	518800	518800	100,00	1976767
S5	54280	54280	100,00	212467,2

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA  
UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

S6	451800	326970	72,37	1772728
S7	296400	95000	32,05	1013548
S8	667300	75750	11,35	2230967
S9	491100	75750	15,42	1650226
S10	604400	98750	16,34	2056595
S11	35920	35920	100,00	218234,6
S12	64570	64570	100,00	325487,4
S13	401400	149750	37,31	1361034
S14	595500	149750	25,15	2013544
S15	55940	55940	100,00	200195,1
S16	29940	29940	100,00	114302,2
S17	66140	66140	100,00	324480,9
A	108580	87810	80,87	377706
Total	5573670	2922500		20319380

Tabela 12 – Custo de Armazenagem das Funções Transmissão, exceto Linha de Transmissão.

<b>Centro de Armazenagem</b>	<b>Área Abrigada Disponível (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Abrigada Utilizada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Taxa de Utilização (%)</b>	<b>Custo de Armaz. Abrigada (R\$)</b>
S1	145	80	55,17	8047,15
S2	227	40	17,62	10541,44
S3	228	60	26,32	41104,41
S4	114	80	70,18	5153,29
S5	210	80	38,10	7447,90
S6	149	50	33,56	9856,24
S7	211	0	0,00	6963,00
S8	102	0	0,00	3366,00
S9	207	25	12,08	17016,03
S10	166	0	0,00	5478,00
S11	233	205	87,98	35824,94
S12	226	20	8,85	7656,45
S13	116	60	51,72	5837,83
S14	211	60	28,44	10506,02
S15	126	60	47,62	8482,02
S16	236	60	25,42	16251,73
S17	171	60	35,09	16197,70
A	833	0	0,00	27489,00
Total	3911	940		243219,15

Tabela 13 – Material Armazenado em Centro Diferente do Centro de Utilização

<b>Centro de Armazenagem</b>	<b>Equipamentos de Outras Subestações (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Subestação de Origem</b>	<b>Equipamento</b>
S11	6	S4	BC12
	60	S4	TR4
	40	S4	BC6

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA  
UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

	40	S4	BC4
--	----	----	-----

Tabela 14 – Valor do Custo de Transporte e PVtt das Funções Transmissão, Exceto Função Transmissão Linhas de Transmissão

Função de Transmissão	Nível de Tensão (kV)	Subestação	Número do Equipamento	SE Alocada	Distância (m <sup>2</sup> )	PVtt (R\$) Ponderado	CT (R\$) Ponderado
BC	13,8	S4	BC12	S11	200	2,070099	101000
TR	345/138	S4	TR4	S11	200	34,86266	552900
BC	13,8	S4	BC6	S11	200	0,396799	84166,67
BC	13,8	S4	BC4	S11	200	0,005915	25250

Tabela 15 – Valor da Parcela Variável em Função do Tempo de Transporte e Custo de Transporte da Função Transmissão Linhas de Transmissão

Subestação	Destinos	Peso Total (Ton)	Centro de Armazenagem	PVtt (R\$) Ponderado	Custo de Transporte (R\$) Ponderado	Área Alocada (m <sup>2</sup> )	Distância entre Subestações (m <sup>2</sup> )
S11	S12	23760	S4	785,7239	26248200	261080	200
S12	S11	23760	S2	463,5771	23474000	232430	118
S4	S2	20800	S17	1481,268	384300	2280	553
S2	S4	20800	S3	535,7208	8904600	106630	200
S5	S7	7600	S6	11,76352	7746000	40720	11
S16	S17	4400	S1	67,12862	4074000	25060	163
S15	S16	11500	A	47,01945	15073800	87810	176
S16	S15	11500	S1	43,54643	22251800	130790	163
S16	S15	11500	S17	58,77432	1887000	8860	220
S16	S15	11500	S3	96,17616	754800	4100	360

As tabelas 14 e 15 apresentam quais seriam os custos oriundos do transporte dos materiais de seu local de armazenagem até o seu local de utilização, incluindo o custo do transporte em si, e o valor de multa por parcela variável que seria cobrado durante o tempo de transporte, já que as instalações de transmissão ficariam indisponíveis enquanto o material está sendo transportado para substituição.

As Tabelas 14 e 15 são construídas a partir dos dados das Tabelas 5 a 13, aplicados na Equação 4 (PVtt).

Pode-se agora calcular o valor do índice de influência da logística na parcela variável. Fica-se com o valor de  $I = 20,94\%$  (calculado com a equação 8). Conforme pode ser observado, há almoxarifados com taxa de utilização 100%, tanto para áreas abrigadas quanto para áreas não abrigadas, o que sugere que tais áreas possam ser expandidas de modo a minimizar o índice de influência da logística na parcela variável, o que reduziria os custos da empresa proprietária. Também se pode observar que há almoxarifados com necessidade de utilização inferior a 100% e em alguns casos com 0% de necessidade de utilização (como o caso da área abrigada do almoxarifado A), que sugere que tais áreas possam ser reduzidas a fim de reduzir os custos da empresa.

## MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

### 5. CONCLUSÕES

O problema de alocação de materiais sobressalentes de equipamentos para utilização em linhas de transmissão no mercado brasileiro é um problema único no mundo, pois as peculiaridades do mercado de transmissão de energia elétrica do Brasil são muito diferentes dos mercados de transmissão de energia nos demais países. Busca-se com metodologia proposta neste trabalho ter-se uma vantagem competitiva para a empresa proprietária de uma linha de transmissão. Este mercado é cada vez mais competitivo, e esta metodologia pode fazer com que a empresa aproveite melhor a infraestrutura já existente para reduzir custos em novos empreendimentos, em disputas de licitações para construção de novas linhas. O modelo proposto neste trabalho para a alocação de equipamentos sobressalentes poderá ser utilizado para vários fins, podem-se destacar os seguintes:

- Diminuição dos custos logísticos;
- Diminuição dos custos de armazenagem;
- Descobrir as áreas ótimas necessárias para armazenagem total e para cada almoxarifado.
- Aumentar a competitividade das empresas frente à aquisição de novos empreendimentos ou fusões de empresas, por possibilitar o maior aproveitamento da infraestrutura já existente;
- Simular diversas situações de aumento e redução de almoxarifados e seus impactos econômicos;
- Escolher os melhores locais para ampliação e construção de novos almoxarifados dentre hipóteses existentes e simulações computacionais.

A parcela variável por indisponibilidade é o maior fator redutor da lucratividade das empresas proprietárias de linha de transmissão. E é neste fator diretamente que a metodologia proposta de distribuição de equipamentos sobressalentes age, priorizando os equipamentos com maior valor de parcela variável por indisponibilidade a ser paga, fazendo com que esteja o mais próximo possível do local de sua utilização. Porém, outros custos são levados em consideração, como os custos de transporte e o próprio custo de armazenagem. O índice de influência da logística na parcela variável ótimo seria zero, mas este valor é utópico, pois para que seja zero, todos os equipamentos sobressalentes devem estar armazenados nas próprias subestações de sua utilização, o que aumentaria os custos de armazenagem. A diminuição dos custos logísticos e de armazenamento por si só poderia aumentar as taxas de lucro dos proprietários dos empreendimentos de transmissão energia. Em uma comparação da alocação dos equipamentos sobressalentes feita com a metodologia desenvolvida neste trabalho com uma alocação normalmente utilizada para os equipamentos apresentados, se obtém uma diferença do índice de influência da logística na parcela variável da ordem de 33%, sendo a de menor índice a que utilizou a metodologia deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

- [1] AMIRSAMAN, A.; HAMID, H. *Pricing of transmission services: An efficient analysis based on fixed and variable imposed costs*. 11<sup>th</sup> IEEEIC . Itália 2012.
- [2] BUBICZ, M. E.; PEREIRA, G. M., BORCHARDT, M., SELLITTO, M. A., *Ganhos de Empresas Industriais Brasileiras com o Mercado Livre de Energia Elétrica*, GEINTEXC, VOL 4, N1, P 588-603, 2014.
- [3] CAMPOS; P. B. R., ELMIRO, M. A. T., Nobrega, R. A. A. *A utilização da modelagem ambiental para sistematização do conhecimento tácito: identificação de corredores preferenciais para linhas de transmissão de energia elétrica*, Bol. Ciênc. Geod.; 20(4); 765-783; 2014

**MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS SOBRESSALENTES PARA  
UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

- [4] DOLEZILEK, D.; ROCHA, G. *Decision-Making Information From Substation IEDs Drives Equipment Life Extension, Modernization, and Retrofitting*. IEEE PES International Conference and Exhibition on Digital Object Identifier. Spain, 2011.
- [5] GODOY, D.; PASCUAL, R.; KNIGHTS, P. *Critical Spare Parts Ordering Decisions Using Conditional Reliability and Stochastic Lead Time*. Reliability Engineering & System Safety. V.119, p.199-206. Elsevier, 2013.
- [6] MACHADO, A.; SELLITTO, M. *Benefícios da implantação e utilização de um sistema de gerenciamento de armazéns em um centro de distribuição*. Produção Online, v.12, n.1,p.46-72, 2012.
- [7] MENESES, A.; PINTO, L.; *Quality of Supply at the Portuguese Electricity Transmission Grid*. 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation. Portugal, 2011.
- [8] MESTRIA, M. *Métodos heurísticos usando Grasp, reconexão de caminhos e busca em vizinhança variável para o problema do caixeiro viajante com grupamentos*. Produção Online, v.13 n.3,p.1002-1033, 2013.
- [9] MO, Y. *Design of Service Part Supply Chain Management*. Tese de PhD em Engenharia Industrial - The Hong Kong University of Science and Technology. Hong Kong, 2013.
- [10] NOURBAKHS, G. *Reliability Analysis and Economic Equipment Replacement Appraisal of Substation and Sub-transmission Systems with Expic Inclusion of Non Repairable Failures*. Tese de PhD em Engenharia Elétrica - Queensland University of Technology. Austrália, 2011.
- [12] QU, G.; CHENG, H.; YAO, L.; MA, Z. *Transmission Surplus Capacity Based Power Transmission Expansion Planning Using Chaos Optimization Algorithm*. Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. China, 2008.
- [13] ROCHA;K; Ajax, MOREIRA; A., LIMP, R. Determinantes dos altos deságios nos leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil entre 1999-2010.Rev. Bras. Econ.; 67(2); 235-249; 2013
- [14] SANTOS, R.; SOUZA JUNIOR, E; BOUZADA, M. *A Aplicação da programação inteira na solução logística do transporte de carga: O solver e suas limitações na busca pela solução ótima*. Revista Produção Online, v.12, n.1, p. 185-204, 2012.
- [15] SEIDSCHER, A.; MINNER, S. *A Semi-markov Decision Problem for Proactive and Reative Transshipments Between Multiple Warehouses*. European Journal of Operational Research. Volume 230, Issue 1, pages 42-52. Elsevier, 2013.
- [16] Tozei, N. P.; Vieira; W. C., Mattos, L. B. *Efeitos da participação de consórcios nos lances e deságios em leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil*.Econ. Apl.; 18(1); 91-116; 2014