

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO HENRIQUE MARTINS GONÇALVES

**PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM SUBESTAÇÕES DE ALTA  
TENSÃO COM ABORDAGEM *BUSINESS INTELLIGENCE***

CURITIBA

2019

BRUNO HENRIQUE MARTINS GONÇALVES

**PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM SUBESTAÇÕES DE ALTA  
TENSÃO COM ABORDAGEM *BUSINESS INTELLIGENCE***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Eletrotécnica, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Ribeiro Júnior

CURITIBA

2019

## TERMO DE APROVAÇÃO

BRUNO HENRIQUE MARTINS GONÇALVES

PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO  
COM ABORDAGEM *BUSINESS INTELLIGENCE*

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

---

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Ribeiro Júnior  
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

---

Prof. Dr. Odilon Luís Tortelli  
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

---

Prof. MsC. Carlos Gouvea  
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Curitiba, 2019

Dedico este trabalho à minha mãe Vera, ao meu pai Jair e ao meu irmão Bernardo, por todo o apoio, paciência e incentivo desde sempre.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que por intercessão de Jesus Cristo me sustenta e permite muitas oportunidades em minha vida apesar das minhas fraquezas e limitações. Sou grato a Ele por me guiar com amor, paciência e misericórdia.

Aos meus pais, Jair Jr. e Vera, por serem os alicerces da minha formação enquanto ser humano, e pelo apoio incondicional em todas as etapas de minha vida.

Ao meu irmão Bernardo, pelas experiências compartilhadas através da engenharia, e pelo apoio de sempre.

Aos meus avós paternos, Jair e Maria, pelos cuidados e pela dedicação sem precedentes à minha vida.

Aos avós maternos, Irene e Jorge, que deixaram grandes ensinamentos e exemplos de vida para mim.

À minha namorada e melhor amiga Êmeli, por estar sempre ao meu lado, pela paciência, pelo carinho incondicional para comigo e por todos os sonhos e objetivos que compartilhamos.

Àqueles amigos que conheci na graduação e que marcaram os últimos cinco anos: Lucas Caetano e Felipe Artemio, que sempre estiveram do meu lado ao longo do curso.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, em especial ao meu orientador, Sebastião Ribeiro Júnior, por estar sempre disponível para sanar dúvidas e orientar a execução deste trabalho.

Ao professor Cleverson, que também foi meu colega enquanto realizei estágio na Copel Distribuição, pelos trabalhos na área e pelo seu excepcional empenho em lecionar.

Aos meus colegas do DPLD da Copel Distribuição, pela oportunidade única e por toda a experiência que me passaram, pela paciência, compreensão e boa vontade em me ensinar, além de todo o apoio na realização deste trabalho.

A Copel Distribuição por me fornecer todos os recursos necessários à realização deste trabalho.

***“Porque para Deus nada é impossível”***

***Lucas 1:37***

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo propor uma metodologia de priorização de investimentos em subestações de alta tensão – 69 kV e 138 kV aplicada no sistema elétrico de distribuição do Paraná, utilizando técnicas e ferramentas computacionais de *Business Intelligence*. A Companhia Paranaense de Energia – Copel prioriza suas obras por meio de um método matemático para tomada de decisões multicritério, cuja aplicação é baseada em extensos bancos de dados, provenientes de diversas fontes, o que torna o processo extenuante. O intuito desta monografia é apresentar a implementação deste método dentro do conceito de inteligência de negócios, visando deixá-lo mais intuitivo e didático. Além disso, busca-se viabilizar a realização de outros tipos de análises por meio de comparações entre as subestações envolvidas e suas peculiaridades, a exemplo de seus alimentadores de média tensão. Ademais, propõe-se neste trabalho a adição de novos critérios de análise para priorização de conjuntos de obras da concessionária, de modo a complementar os seis já utilizados.

Palavras-chave: Sistemas Elétricos de Distribuição, Priorização de Obras, Subestações, *Business Intelligence*, Big Data, Power BI, Tomada de Decisão.

## ABSTRACT

This monograph aims to propose a methodology for prioritizing investments in high voltage substations – 69 kV and 138 kV for Paraná's electric distribution system by using Business Intelligence techniques and softwares. The Paranaense Energy Company – Copel prioritizes its future high voltage substations through a mathematical method for multicriteria decision-making supported by a big database from a lot of different sources, which leads it to become laborious. The purpose of this monograph is to present the implementation of this method within the concept of Business Intelligence, letting its analysis to become more intuitive and didactic. Also, this essay sets its sights on making it possible to perform different types of analysis by comparing all the substations in study and their peculiarities, as an example of their medium voltage feeders. In addition, apply in this case the inclusion of new analysis criterion for prioritizing the concessionaire's substations to complement the six already used.

Key-words: Electric Distribution Systems, Investment prioritization, Substations, *Business Intelligence*, Big Data, Power BI, Decision-making.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do SEP.

Figura 2 – Fluxograma do Planejamento de Obras no SEP.

Figura 3 – Gráfico Ano x Custo de Manutenção do Sistema Elétrico.

Figura 4 – Arquitetura Hierárquica de um sistema com abordagem BI.

Figura 5 – Exemplo de *dashboard*.

Figura 6 – Estrutura Hierárquica do AHP.

Figura 7 – Fluxograma da metodologia a ser empregada.

Figura 8 – Região da SE Douradina 138 kV.

Figura 9 – Região da SE Itamaraty 138 kV.

Figura 10 – Região da SE Jaguapitã 138 kV.

Figura 11 – Região da SE Jardim Figueira 138 kV.

Figura 12 – Fluxograma de priorização de obras da Copel DIS.

Figura 13 – Planilha utilizada para determinação da Matriz A.

Figura 14 – Página inicial do processo no Power BI.

Figura 15 – *Dashboard* referente ao critério A.

Figura 16 – Resultado das análises para o critério A.

Figura 17 – *Dashboard* referente ao critério B.

Figura 18 – Resultado das análises para o critério B.

Figura 19 – *Dashboard* referente ao critério C.

Figura 20 – Resultado das análises para o critério C.

Figura 21 – *Dashboard* referente ao critério D.

Figura 22 – Resultado das análises para o critério D.

Figura 23 – *Dashboard* referente ao critério E.

Figura 24 – Resultado das análises para o critério E.

Figura 25 – *Dashboard* referente ao critério F.

Figura 26 – Resultado das análises para o critério F.

Figura 27 – Resultado da priorização das SE's 138 kV.

Figura 28 – Ranking das obras prioritárias.

Figura 29 – Nova ordem de importância dos critérios.

Figura 30 – *Dashboard* referente ao novo critério C.

Figura 31 – Resultado das análises para o novo critério C.

Figura 32 – *Dashboard* referente à análise da eficácia das novas SE's

Figura 33 – Resultado das análises para o novo critério D

Figura 34 – Novo resultado da priorização das SE's 138 kV.

Figura 35 – Novo ranking de obras prioritárias.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fontes de Geração de Energia.

Quadro 2 – Comparação entre critérios.

Quadro 3 – Matriz A de comparação dos critérios.

Quadro 4 – Matriz A de comparação normalizada.

Quadro 5 – Matriz de Prioridades Relativas

Quadro 6 – Vetor de Eigen

Quadro 7 – Índice de Consistência Aleatório segundo a dimensão “n” da matriz A.

Quadro 8 – Matriz A do Estudo.

Quadro 9 – Matriz A normalizada.

Quadro 10 – Matriz de Prioridades Relativas.

Quadro 11 – Vetor de Eigen do Estudo de Caso.

Quadro 12 – Dados dos Alimentadores de MT.

Quadro 13 – Dados de DEC das SE's.

Quadro 14 – Dados de Carregamento e Tensão dos Alimentadores.

Quadro 15 – Dados de Carregamento de Transformadores de Alta Tensão.

Quadro 16 – Dados de Perdas Técnicas.

Quadro 17 – Planilha utilizada com resultados da análise de melhoria do DEC.

Quadro 18 – Planilha utilizada com resultados da análise de redução do carregamento dos alimentadores.

Quadro 19 - Exemplo de planilha utilizada para cálculo de melhoria de carga em transformadores de alta tensão.

Quadro 20 – Exemplo de planilha utilizada para cálculo do carregamento dos alimentadores de média tensão.

Quadro 21 – Número de consumidores beneficiados pela melhoria no nível de tensão dos alimentadores.

Quadro 22 - Número de consumidores beneficiados pela melhoria do IAS.

Quadro 23 – Número de consumidores beneficiados pela redução de perdas técnicas.

Quadro 24 – Total de Consumidores Beneficiados para cada critério analisado.

Quadro 25 – Ranking das Obras Prioritárias.

Quadro 26 – Informações das SE's fonte.

Quadro 27 – Resumo de dados para o novo critério.

Quadro 28 – Nova matriz A do problema.

Quadro 29 – Nova matriz A normalizada.

Quadro 30 – Novo vetor de prioridades relativas.

Quadro 31 – Novo vetor de Eigen do problema.

**LISTA DE SIGLAS**

A	-	<i>ampere</i>
Aneel	-	Agência Nacional de Energia Elétrica
AHP	-	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
BI	-	Business Intelligence
COFINS	-	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
Copel	-	Companhia Paranaense de Energia
Copel DIS	-	Concessionária de Distribuição da Copel <i> Holding</i>
DEC	-	Duração de Interrupção Equivalente por Unidade Consumidora
FEC	-	Frequência de Interrupção Equivalente por Unidade Consumidora
ICMS	-	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IQS	-	Índice de Qualidade de Serviços da Distribuição
kV	-	quilovolt
kW	-	quilowatt
LDAT	-	Linha de Distribuição de Alta Tensão
MVA	-	megavoltampere
MW	-	megawatt
ONS	-	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDD	-	Plano de Desenvolvimento da Distribuição

PIS	-	Programas de Integração Social
Prodist	-	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
Prodis	-	Programa de Obras da Distribuição
SE	-	Subestação
SE AT	-	Subestação de Alta Tensão
SE MT	-	Subestação de Média Tensão
SEP	-	Sistema Elétrico de Potência
SDAT	-	Sistema de Distribuição de Alta Tensão
SDMT	-	Sistema de Distribuição de Média Tensão
SIN	-	Sistema Interligado Nacional
TI	-	Tecnologia da Informação
TIR	-	Taxa Interna de Retorno
VPL	-	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Contexto .....	17
1.2	Justificativa .....	18
1.3	Objetivos.....	19
1.3.1	Objetivo geral .....	19
1.3.2	Objetivos específicos .....	19
1.4	Estrutura do Trabalho.....	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	21
2.1	O Setor Elétrico Brasileiro .....	21
2.1.1	Geração de Energia Elétrica .....	22
2.1.2	Transmissão de Energia Elétrica.....	23
2.1.3	Distribuição de Energia Elétrica .....	23
2.2	Planejamento de Sistemas de Distribuição .....	24
2.2.1	Critérios de Planejamento .....	27
2.3	Qualidade de Energia.....	29
2.4	Business Intelligence.....	31
2.5	Método da Análise Hierárquica – AHP .....	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	40
3.1	Materiais.....	40
3.2	Métodos.....	40
3.2.1	Levantamento de dados e requisitos.....	42
3.2.2	Verificação da métrica Copel de priorização .....	43
3.2.3	Aplicação da Metodologia AHP .....	44
3.2.4	Enquadramento da abordagem BI .....	45
3.2.5	Comparação e Conclusões .....	46
4	RESULTADOS E ANÁLISES.....	47
4.1	Estudo de Caso .....	47
4.1.1	Contextualização.....	47

	16
4.1.2 Critérios Utilizados para Priorização de Obras.....	52
4.1.3 Pesos dos Critérios .....	53
4.1.4 Premissas de Análise.....	57
4.1.5 Dados das SE's.....	58
4.1.6 Priorização do Conjunto de Obras .....	62
4.1.7 Resultados do Estudo de Caso .....	73
4.2 Implementação da metodologia BI à priorização de obras do SDAT .....	74
4.2.1 Aplicação da metodologia .....	74
4.3 Resultados alcançados pela metodologia BI para priorização de obras do SDAT	74
4.3.7 <i>Dashboard</i> final do processo.....	85
4.4 Reavaliação dos critérios de análise .....	87
4.4.1 Eliminação de sobrecarga na SE fonte .....	87
4.4.2 Eficácia da eliminação de sobrecarga na SE fonte .....	90
4.4.3 Reavaliação dos pesos para os critérios de análise.....	93
4.5 Análise dos novos critérios via abordagem BI .....	97
4.5.1 Análise do critério de eliminação de sobrecarga na SE fonte .....	97
4.5.2 Análise do critério de eficácia do benefício das novas SE's.....	98
4.6 Novo ranking de obras priorizadas .....	100
4.7 Comparações entre as metodologias .....	102
4.7.1 Resultados do estudo de caso .....	102
4.7.2 Aplicação da abordagem BI .....	103
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
5.1 Diretrizes para trabalhos futuros.....	106
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto

A estruturação da priorização de obras estruturais do sistema de distribuição adotada pelas concessionárias tem como objetivo direcionar investimentos à empreendimentos que visem melhorar os índices de continuidade, minimizar perdas ôhmicas, aliviar carregamentos de linhas e transformadores, e atender às expectativas de crescimento de carga, adequando o conjunto à legislação vigente. Ressalta-se que os critérios citados fazem parte do Prodist Módulo 2, da Aneel – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição (Aneel, 2016).

O processo de privatização do setor elétrico iniciado no ano de 1996 conjuntamente à criação de um órgão regulamentador – Aneel promoveu significativas mudanças quanto a questões de planejamento, controle e execução de obras do sistema de distribuição de energia por parte das concessionárias devido à maior relevância que passou a ser dada aos indicadores de continuidade de fornecimento. Estes são impostos pela Aneel, e seus desempenhos fazem parte de um conjunto de metas estabelecidas pelo órgão através do Prodist, em seu módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. O não cumprimento das metas estabelecidas infere em penalidades monetárias e até suspensão ou perda do Contrato de Concessão da empresa distribuidora em casos mais agravantes.

Sob o ponto de vista técnico, o setor elétrico tem passado por mudanças impactantes em sua topologia, operação e concepção de planejamento devido à popularização da Geração Distribuída, do notável crescimento de carga urbana e rural, do aumento do número de acessantes ao sistema de distribuição (grupo A), entre outros fatores. As condições citadas têm contribuído à ocorrência de problemas como sobrecarga e dificuldade de atendimento das cargas em regime de contingência da rede, resultando no aumento de interrupções e na perda de qualidade no fornecimento (Kagan et al, 2005).

Este cenário leva as concessionárias a buscar alternativas para ampliação da gama de critérios utilizados na priorização de seus investimentos em obras estruturais para o sistema, além dos já considerados.

No tocante a obras e investimentos, a concessionária redige um Plano de Obras para o sistema de distribuição e a partir dele realiza um trabalho de avaliação baseado em aspectos técnicos e econômicos, selecionando as obras que são mais

relevantes, e que impactam na melhoria dos índices de continuidade - DEC e FEC. Todavia, após esta seleção, e considerando a grande quantidade de obras propostas, a concessionária deve realizar a priorização do conjunto, uma vez que é inviável financeiramente a execução integral deste (Pinto, 2008).

Frente a este cenário, ressalta-se a importância das metodologias de priorização das obras. Há a necessidade de aperfeiçoar as já existentes a partir da revisão e inserção de mais indicadores técnicos e econômicos, de modo a torná-las mais fiéis e condizentes ao atual perfil do sistema e dos consumidores, e também, de propor-se novas métricas de priorização, de modo a aumentar a gama de possibilidades, melhorando confiabilidade e segurança na tomada de decisões.

Com isso, o presente trabalho visa a implementação de uma abordagem BI ao processo de priorização de obras atualmente utilizado pela Copel DIS objetivando aprimorar o mesmo por meio da inserção de novos critérios de análise, da criação de *dashboards* interativos e da otimização de bancos de dados.

## **1.2 Justificativa**

O Departamento de Planejamento e Controle da Expansão da Distribuição da Copel é responsável por propor as obras estruturais do sistema de distribuição do Paraná. Conseqüentemente, também é responsável por priorizar os investimentos realizados na área de concessão da companhia.

As futuras SE's de alta tensão são priorizadas por meio de um método matemático para tomada de decisões com base em análise e julgamento de critérios – o método *AHP (Analytic Hierarchy Process)*. Este método é muito eficiente, todavia em alguns casos, como o apresentado nesta monografia, o mesmo torna-se extenso e maçante, abrindo mão de questões como a didática por exemplo.

Portanto, o diferencial deste trabalho é utilizar o *Business Intelligence* a fim de complementar o método supracitado, abrangendo um maior número de critérios técnicos de modo a garantir maior confiabilidade e segurança no processo de priorização de obras estruturais no sistema de distribuição em alta tensão.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em propor uma metodologia baseada em abordagem *Business Intelligence* (BI) para a priorização de investimentos em obras de subestações do sistema elétrico de distribuição de alta tensão do Paraná – 69 kV e 138 kV, de modo a direcionar de maneira mais fidedigna os investimentos em subestações para atender os índices de continuidade DEC e FEC, proporcionando indicadores financeiros favoráveis dentro dos limites orçamentários da concessionária e considerar questões técnicas, como perdas ôhmicas, carregamento de equipamentos, geração distribuída, número de consumidores beneficiados e qualidade de energia.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos destacam-se:

1. Realizar um estudo de caso da Copel DIS referente à priorização de um conjunto de obras de subestações de alta tensão utilizando a métrica atualmente empregada.
2. Verificar se a atual metodologia de priorização de investimentos em subestações de alta tensão da Copel se enquadra ao *Business Intelligence*.
3. Desenvolver a metodologia de *Business Intelligence* para a análise de gestão em obras prioritárias.
4. Propor novos critérios de análise para o processo de priorização de obras da Copel DIS.
5. Reavaliar o estudo de caso descrito no primeiro objetivo específico utilizando a metodologia desenvolvida baseada em *Business Intelligence*.
6. Realizar a comparação do estudo de caso da Copel realizado pelas duas métricas: a atualmente utilizada e a proposta neste trabalho.

## 1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em seis etapas. A primeira consiste em introduzir o contexto no qual este trabalho está inserido, explicitando também os objetivos a serem cumpridos.

A segunda etapa consistirá na revisão bibliográfica sobre os assuntos abordados neste trabalho. Notadamente, o setor elétrico brasileiro, o planejamento de sistemas elétricos de distribuição segundo aspectos econômicos e técnicos, qualidade de energia elétrica e a metodologia AHP para tomada de decisões.

A terceira etapa, por sua vez, consistirá na apresentação dos materiais e métodos empregados na realização do presente trabalho, explicando os softwares e as ferramentas necessárias para as análises.

Na quarta etapa será apresentada a metodologia de priorização de obras utilizada pela Copel DIS para instalações de alta tensão, realizando-se um estudo de caso por meio dos dados levantados. Almeja-se avaliar o conjunto de obras levantado e realizar sua priorização através do método AHP, utilizado pela concessionária.

Ainda na quarta etapa, será avaliada a implementação de uma metodologia *Business Intelligence* para o contexto apresentado, referente à priorização do conjunto de obras analisado anteriormente. Uma vez implementada a metodologia via software a ser definido, o estudo de caso será reapresentado conforme as modificações realizadas, afim de que o antes e depois possa ser comparado.

A quinta etapa, incluída na parte de resultados, consistirá na elaboração de dois novos critérios de análise para priorização de obras, com o intuito de complementar ou até mesmo substituir os critérios já utilizados. Uma vez implantada esta modificação, o estudo de caso será reavaliado via metodologia BI já desenvolvida na etapa quatro.

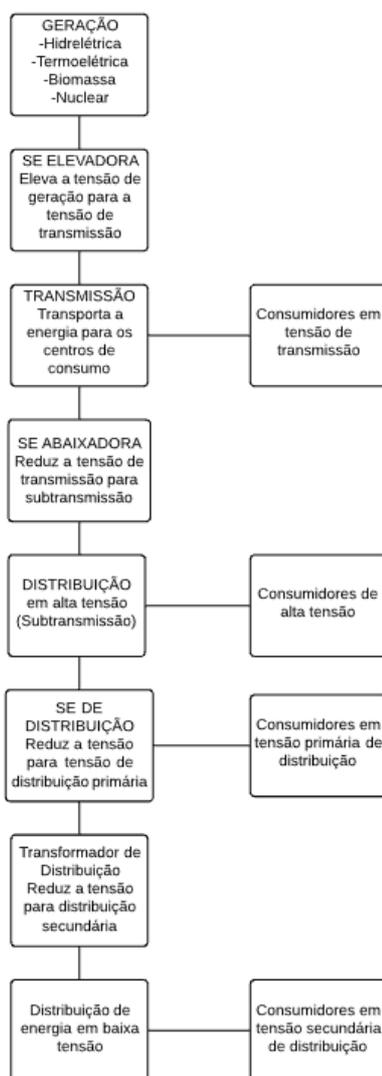
Na sexta etapa, por fim, serão feitas as conclusões acerca deste trabalho, discutindo-se os resultados e apresentando-se sugestões de trabalhos futuros. Então, o trabalho de conclusão de curso será finalizado e entregue para avaliação da banca.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O Setor Elétrico Brasileiro

O SEP brasileiro essencialmente consiste em três segmentos: geração, transmissão e distribuição de energia. Cada um possui suas particularidades, todavia, é a interligação destes que permite o usufruto da energia elétrica pelas unidades consumidoras, conforme ilustra a figura 1.

Figura 1 – Representação do SEP.



Fonte: O Autor. Adaptado de Kagan et al (2005).

Alguns autores atualmente já consideram a comercialização de energia elétrica como uma quarta vertente do SEP no Brasil devido ao considerável crescimento deste mercado.

Abaixo serão explanadas as principais características de cada segmento supracitado no presente item.

### 2.1.1 Geração de Energia Elétrica

É o segmento responsável por gerar energia elétrica a partir de outras fontes, chamadas de primárias, por meio de geradores síncronos ou máquinas rotativas assíncronas.

As fontes primárias de geração podem ser renováveis ou não renováveis, a saber que, na matriz energética brasileira, as fontes renováveis são predominantes devido a fatores geográficos que permitem um bom aproveitamento de recursos naturais como a água, o vento e a radiação solar. No quadro 1 são apresentados os onze principais tipos de geração, e seu percentual em relação a capacidade instalada na matriz energética do Brasil, segundo o Ministério de Minas e Energia.

Quadro 1 – Fontes de Geração de Energia.

<b>Tipo de Geração</b>		<b>Capacidade Instalada</b>
Hidráulica		63,70%
Eólica		8,10%
Solar		1,00%
Térmica	Gás Natural	8,10%
	Biomassa	9,10%
	Petróleo	6,20%
	Carvão	2,30%
	Nuclear	1,20%
	Outros	0,10%

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2019).

O Brasil possui um dos potenciais hidráulicos mais aproveitáveis do mundo. Isso justifica o fato da geração hidrelétrica ser a predominante no país, a qual é suplementada com a geração térmica. Esta colaboração permite que em períodos de seca a geração de eletricidade no país não seja fortemente afetada.

Nos últimos anos houve um considerável aumento da capacidade instalada de fontes renováveis de energia. Este crescimento teve sua gênese na aprovação da Resolução Normativa nº 482/2012 da Aneel, em 2012, a partir da qual foi permitido que o consumidor, no Brasil, pudesse gerar energia de maneira individual e fornecer o

excedente à rede de distribuição, levando a popularização da Geração Distribuída. Ainda sim, a principal fonte de geração de energia elétrica, é a hidráulica (Aneel, 2012).

### **2.1.2 Transmissão de Energia Elétrica**

A ponte interligadora entre as usinas geradoras de energia e os centros consumidores é o sistema de transmissão, ou rede básica, responsável primariamente pelo transporte de energia entre estes dois extremos. Ele tem como função secundária alimentar alguns consumidores específicos, que utilizam tensões de alimentação superiores a 138 kV. Como citado no item 2.1.1, aproximadamente 64% da energia gerada no Brasil provém de usinas hidrelétricas, as quais, na maioria dos casos, estão afastadas dos centros de consumo. Este é um fator preponderante para a expansão do sistema de transmissão.

Segundo Kagan et al (2005), uma das razões pela qual este sistema é importante e mirado por grandes montantes de investimento é o fato deste possibilitar o intercâmbio de energia entre dois centros consumidores, a exemplo da interligação entre os estados de São Paulo e Paraná. Os autores explicam que durante o período do verão, quando há seca no estado sulista, São Paulo exporta energia, ocorrendo o oposto no inverno.

Ressalta-se também que o sistema de transmissão promove maior confiabilidade entre a geração e o consumo pelos consumidores. Esta confiabilidade deve ser garantida também, pois há consumidores interligados à malha de transmissão.

Majoritariamente este sistema é composto por linhas trifásicas em corrente alternada, com tensões operacionais superiores a 230 kV. Porém existem também linhas em corrente contínua, a exemplo da interligação entre Itaipu, no Paraná, e Ibiúna, em São Paulo, composta por dois pólos de  $\pm 600$  kV com extensão de 820 km. Ressalta-se que para circuitos extensos, o uso de corrente contínua torna-se mais vantajoso em relação à corrente alternada, conforme Kagan et al (2005).

### **2.1.3 Distribuição de Energia Elétrica**

O sistema de distribuição é responsável por distribuir a energia transportada desde as usinas geradoras até os centros de consumo. Ele pode ser dividido em três categorias, as quais são hierárquicas quanto ao nível de tensão, sendo elas: subtransmissão, distribuição primária e distribuição secundária (Kagan et al., 2005)

A subtransmissão, ou distribuição em alta tensão, é o interposto entre os sistemas de transmissão e de distribuição primário, podendo compor a chamada Rede Básica de Fronteira. Operam usualmente em 138 kV e 69 kV (mas também apresentam sistemas de 88 kV), e tem por objetivo distribuir carga para as subestações do sistema primário de distribuição (13,8 kV e 34,5 kV) por meio de linhas de alta tensão trifásicas com capacidade que varia de 20 MW até 150 MW, segundo Kagan et al (2005).

O SDAT pode operar radialmente ou em malha. Operando em malha, facilita-se a execução de manobras no sistema em caso de contingência, permitindo também remanejamento de carga pelo SDMT das SE's interligadas. Atualmente, as concessionárias buscam eliminar as chamadas "radialidades" do sistema por meio da interligação entre subestações, de modo que as SE's possuam, pelo menos, duas fontes diferentes.

Kagan et al (2005) explica que o sistema de distribuição primário, ou de média tensão, opera com tensões de 13,8 kV e 34,5 kV. Este conecta o SDAT com o sistema de distribuição de baixa tensão, ou secundário. É composto por subestações de onde derivam alimentadores, usualmente com capacidade de 12 MVA os quais se destinam a alimentar o sistema de baixa tensão, o qual opera com tensões padronizadas – 127 V, 220 V, 380 V, entre outras.

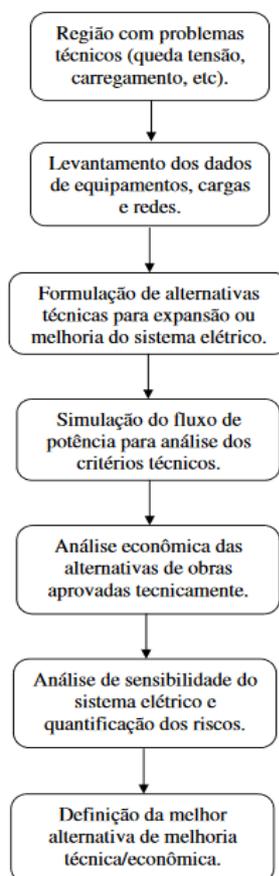
Por fim, o sistema de distribuição secundário, ou de baixa tensão, distribui a energia em tensões inferiores a 1 kV para as unidades consumidoras, por meio dos ramais de ligação (Kagan et al, 2005).

## **2.2 Planejamento de Sistemas de Distribuição**

O planejamento do sistema elétrico é vital para garantir o atendimento às cargas e acompanhar o notável crescimento da demanda por energia elétrica. Ele resume-se na realização de estudos de fluxo de potência para análise do crescimento do mercado consumidor de energia elétrica a curto, médio e longo prazo, identificando tendências de modo a prever obras necessárias no sistema para garantir a disponibilidade de energia aos consumidores. Além de promover disponibilidade de energia, outro objetivo do planejamento é garantir confiabilidade no processo de distribuição buscando sempre operá-lo de modo que perdas de equipamentos e problemas de contingência em instalações sejam contornadas por meio de manobras na rede, por exemplo.

A figura 2 ilustra as etapas do planejamento de obras no SEP.

Figura 2 – Fluxograma do Planejamento de Obras no SEP.



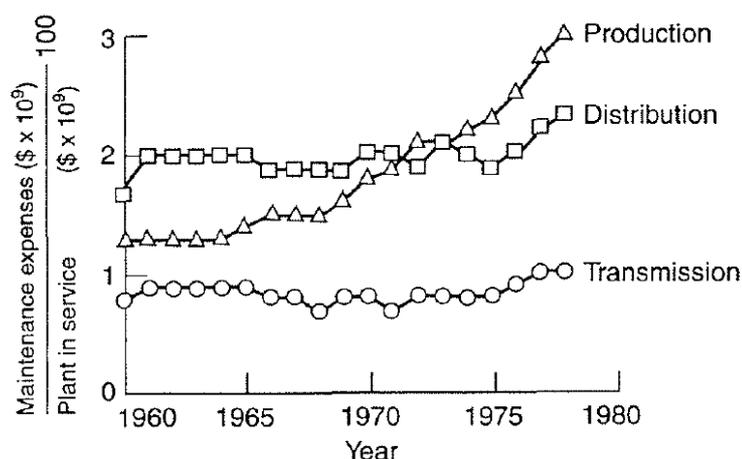
Fonte: Candian (2008).

No Brasil, a Aneel normatiza as atividades técnicas relacionadas ao planejamento do sistema de distribuição por meio do Prodist Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição, sendo que este:

- Define as bases sobre as quais as distribuidoras devem desenvolver seus estudos de previsão de carga de médio e longo prazo;
- Define os critérios quanto à caracterização da carga e do sistema elétrico;
- Explicita os principais critérios e estudos necessários à avaliação e definição das futuras configurações do sistema de distribuição;
- Apresenta o PDD, explicitando os resultados dos estudos de planejamento do sistema de distribuição e apresentando o plano de expansão, plano de obras e balanço das obras realizadas.

Anteriormente, os sistemas de distribuição a nível mundial eram projetados apenas a curto e médio prazo, muitas vezes não considerando longos horizontes de análise. Todavia, o aumento no custo de compra e manutenção de equipamentos do sistema, bem como na mão de obra necessária direcionou as concessionárias de distribuição a considerarem metodologias de planejamento que visem análises técnicas e econômicas em longo prazo (Gönen, 2008).

Figura 3 – Gráfico Ano x Custo de Manutenção do Sistema Elétrico.



Fonte: Gönen (2008).

De maneira geral, os estudos de planejamento do sistema de distribuição concentram-se em horizontes que variam de cinco até dez anos, dependendo do contexto analisado e do nível de tensão das instalações (Candian, 2008). Quanto ao contexto, este pode referir-se a obras estruturais no sistema (subestações, linhas de distribuição e alimentadores) ou a equipamentos, como transformadores de potência. No que se refere ao horizonte de análise, destaca-se que este é, de maneira geral, diretamente proporcional ao nível de tensão, ou seja, quanto maior for este nível, mais duradouro será o horizonte analisado.

Segundo Fletcher e Strunz (2007), o planejamento do sistema elétrico de distribuição deve considerar fatores que garantam a tomada de decisões acerca de investimentos, fazendo-se necessário o uso de procedimentos e métodos que permitam a proposição de obras para expansão do sistema levando em consideração condições operacionais relacionadas à qualidade, confiabilidade e disponibilidade de energia.

## 2.2.1 Critérios de Planejamento

O planejamento do sistema elétrico de distribuição deve ser feito considerando-se, concomitantemente, fatores técnicos e econômicos. A análise conjunta destes permite que sejam propostas alternativas a partir do levantamento e manuseio de dados, de modo que sejam realizados estudos técnicos por meio de simulações computacionais e em seguida, estudos econômicos, para avaliar o custo benefício das alternativas, culminando em uma avaliação final, e posteriormente, a decisão. Tudo isso, dentro de um horizonte de análises previamente determinado (Candian, 2008).

Segundo Candian (2008), pode-se resumir o processo de tomada de decisões para fins de planejamento da seguinte forma:

- Preparação de dados e levantamento de tendências;
- Formulação de alternativas;
- Estudos técnicos;
- Estudos econômicos;
- Tomada da decisão.

### 2.2.1.1 Horizontes de Planejamento

O horizonte de planejamento do sistema deve ser compatível com o tipo de análise a ser feita, de modo que a solução encontrada para o cenário não seja impactada quanto aos investimentos realizados no período.

A determinação do horizonte de análise para planejamento do SEP deve levar em consideração alguns fatores, devendo, de maneira confiável, garantir que a previsão de crescimento do mercado consumidor de energia elétrica seja a mais fidedigna à realidade possível. Dessa forma, pode-se conhecer as características da carga dentro do contexto analisado, avaliando as necessidades de manutenção e operação do sistema, além de prever as obras de expansão deste (Eletrobrás, 1982).

Previamente ao estabelecimento do horizonte de análise, deve-se determinar o cenário de análise. Este deve prever as condições técnicas, políticas, socioambientais e econômicas. Neste tocante, um fator preponderante na decisão é o tipo de sistema –

transmissão ou distribuição, sendo que seus horizontes de estudo variam de cinco até trinta anos (Candian, 2008).

Neste tocante, pode-se ter dois patamares de horizonte para estudos de planejamento, uma vez estabelecido o cenário, a saber:

- Estudos de longo prazo: Geralmente realizados para o sistema de transmissão de energia elétrica, podendo chegar a até trinta anos. Deve levar em consideração as fontes de geração disponíveis, o crescimento do consumo de carga industrial, tendências tecnológicas do setor elétrico e os impactos ambientais dos projetos.

- Estudos de médio e curto prazo: São estudos que variam de cinco a dez anos, geralmente usados no sistema de distribuição de energia elétrica. É necessário levar em consideração o PDD, os indicadores de qualidade do sistema, impostos pela Aneel e estudos atrelados à rede básica do SIN.

Como dito no início desta seção, os critérios de planejamento para o sistema de distribuição podem ser classificados em duas frentes: estudos técnicos e estudos econômicos (Eletrobrás, 1982).

### **2.2.1.2 Estudos Técnicos**

Uma vez analisada a configuração do sistema e suas características frente às alternativas propostas, são realizados os estudos técnicos para avaliação de viabilidade operacional destas. Ressalta-se que, para o sistema elétrico de distribuição, todas as análises realizadas são em regime permanente.

Por meio de simulações computacionais são analisadas as alternativas levantadas dentro do horizonte de planejamento, usualmente considerando diversas simplificações, permitindo que, após a análise de todo o conjunto de propostas, estas sejam comparadas entre si quanto a suas características técnicas.

Por fim, todas as alternativas de planejamento analisadas nesta etapa são analisadas sob o ponto de vista de custo-benefício do investimento, para que finalmente, a melhor alternativa possa ser determinada (Eletrobrás, 1982).

### **2.2.1.3 Estudos Econômicos**

Levantadas as alternativas através dos estudos técnicos, parte-se para a análise econômica destas, de modo que possa ser tomada a decisão final.

Cada proposta tem seus indicadores financeiros calculados (VPL, TIR e *Payback*) e seus custos e investimentos determinados, de modo que possa ser estimado seu valor total final.

Esta etapa, segundo a Eletrobrás (1982), deve levar em consideração os seguintes fatores:

- Crescimento do mercado consumidor;
- Tarifas de compra e venda de energia;
- Custo de perdas técnicas e não técnicas;
- Taxas de operação e manutenção do sistema;
- Depreciação de ativos;
- PIS, COFINS e ICMS;
- Taxa de fiscalização.

Ao fim desta etapa, será selecionada a alternativa mais viável no tocante a gastos e investimentos, ponderando as questões técnicas levantadas no item anterior, permitindo que se possa realizar a avaliação final no contexto de planejamento.

### **2.3 Qualidade de Energia**

O Prodist módulo 8 da Aneel – Qualidade da Energia Elétrica, especifica os indicadores de qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica pelo sistema de distribuição os quais devem ser respeitados pelas concessionárias.

O não cumprimento destes indicadores implica em penalidades monetárias e até mesmo perda da concessão ou não renovação da mesma.

Os indicadores de qualidade impostos fazem referência às unidades consumidoras, considerando-as de duas maneiras: Individualmente e coletivamente, por meio de grupos consumidores. A Aneel exige que estes parâmetros de qualidade e continuidade sejam calculados mensal, trimestral e anualmente.

Como citado anteriormente, os indicadores de continuidade de fornecimento são divididos em individuais e coletivos.

Abaixo são apresentados os indicadores individuais de continuidade:

- I. DIC – Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, ou por Ponto de Conexão.

$$DIC = \sum_{I=1}^N t(i) \quad (1)$$

- II. FIC – Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, ou por Ponto de Conexão.

$$FIC = n \quad (2)$$

- III. DMIC – Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão.

$$DMIC = t(i)_{\text{máximo}} \quad (3)$$

- IV. DICRI – Duração da Interrupção Individual ocorrida em Dia Crítico por unidade consumidora ou por ponto de conexão.

$$DICRI = t_{\text{crítico}} \quad (4)$$

Onde:

$i$  = Índice correspondente à interrupção da unidade consumidora ou por ponto de conexão no período analisado, variando de 1 até  $n$ ;

$t(i)$  = Tempo de duração da interrupção “ $i$ ” da unidade consumidora ou por ponto de conexão no período de análise (usualmente em horas);

$n$  = Número de interrupções da unidade consumidora ou por ponto de conexão considerado, no período de análise;

$t(i)$  máximo = Valor do tempo da maior duração de interrupção contínua ( $i$ ) no período analisado, averiguado na unidade consumidora ou no ponto de conexão considerado, expresso em horas;

$t_{\text{crítico}}$  = Duração da interrupção ocorrida em Dia Crítico.

Abaixo são apresentados os indicadores coletivos de continuidade:

V. DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} DIC(i)}{Cc} \quad (5)$$

VI. FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} FIC(i)}{Cc} \quad (6)$$

Onde:

$Cc$  = Número de unidades consumidoras.

## 2.4 Business Intelligence

A incessante busca por agilidade no processamento de dados e segurança na tomada de decisões levou o segmento de TI a criar novas alternativas aos métodos tradicionais. Uma destas é o BI (*Business Intelligence*), o qual permite a mineração e análise de dados armazenados em um grande contingente de maneira rápida, eficiente e segura (Barbieri, 2001).

Howard Dresner, em 1989, criou o termo *Business Intelligence*, que segundo ele, é “Uma metodologia pela qual se estabelecem ferramentas para obter, organizar, analisar e prover acesso às informações necessárias aos tomadores de decisão das empresas para analisarem os fenômenos acerca de seus negócios”. Conforme Loh (2014), acontecimentos seguidos de suas consequências são a base de trabalho do BI, que visa buscar as melhores soluções para a situação em que está inserido.

Apesar de seu nome fazer menção à área de negócios e administração empresarial, o BI pode ser empregado também na área tecnológica, para tomada de decisões técnicas mais específicas. Usualmente, sua aplicação na administração de negócios volta-se para análise de dados levantados internamente à instituição, como por exemplo, a quantidade de produtos fabricados em um determinado mês, e também dados externos, por exemplo, a porcentagem de aceitação do produto pelos consumidores. Foi citado o exemplo de um produto, todavia, neste tocante o BI pode ser empregado para análise de dados relacionados a um processo. Ao final, têm-se resultados atrelados à relação entre o produto (ou processo) e o mercado consumidor, antecipando possíveis tendências e comportamentos, o que permitirá os processos de tomada de decisões mais precisos e seguros (Pereira, 2015).

Ainda conforme Pereira (2015), a utilização de técnicas de BI em aplicações tecnológicas tem por intuito a análise de dados e informações coletados e armazenados através de aparatos tecnológicos. Neste cenário, o BI baseia-se na utilização de ferramentas computacionais que permitam a seleção e análise de um considerável volume de elementos com confiabilidade e em um tempo relativamente curto, visando à tomada de decisões ágil e segura.

O BI é considerado como uma das formas mais ágeis para elaboração de relatórios empresariais. Atualmente, a ferramenta computacional Microsoft Excel é amplamente utilizada para o armazenamento e tratamento de dados, porém, este torna a atividade muito trabalhosa quando o volume de dados é grande, gerando a possibilidade de falhas ao final do processo (Pereira, 2015).

A metodologia do BI permite que grandes conjuntos de dados sejam tratados com confiabilidade e economia de tempo em relação a outras ferramentas, a exemplo do já citado *Excel*, uma vez que permite a conversão destes conjuntos em informações relevantes e com grande utilidade. Estas informações produzidas, ao final do processo, geram um *dashboard* (painel) onde são apresentados os resultados obtidos através da análise dos dados, permitindo a visualização das métricas utilizadas, bem como do desempenho dos indicadores propostos para a análise. Desta forma, grandes conjuntos de dados podem ser convertidos em *dashboards* o que implica em maior agilidade e segurança no tratamento das informações (Pereira, 2015).

Todo o processo de análise baseado em BI é regido por uma arquitetura hierárquica. Esta tem sua gênese na aquisição e armazenamento de dados e finaliza-se no que é chamado de inteligência, ou tomada de decisão. A aquisição de dados provém de um trabalho conjunto entre os diversos setores da empresa, sendo estes armazenados em sistemas operacionais (Pereira, 2015).

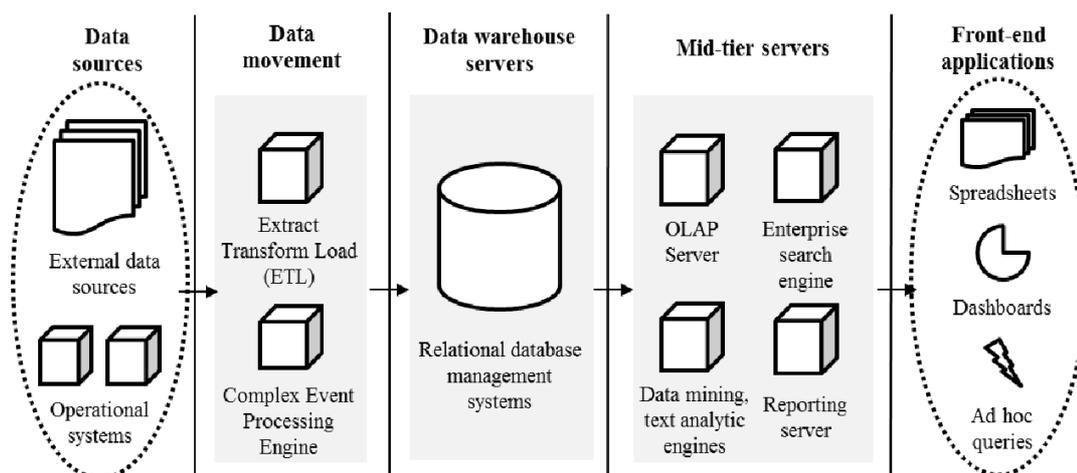
Sequencialmente é realizada a extração, dos dados para que estes sejam transpostos para servidores de *Data Warehouse*, onde serão manuseados e transportados para servidores de nível intermediário, que segundo Chaudhuri et al (2011), são servidores complementares àqueles de *Data Warehouse*.

Os servidores de nível intermediário são movidos pelas ferramentas exibidas na figura 4.

O OLAP (*Online Analytic Processing*) é responsável por permitir que os dados possam ser aplicados em rotinas básicas do BI, como concatenamento, filtragem e segregação. Os Servidores de Relatório (*Reporting Servers*) permitem a rápida geração de relatórios, que posteriormente serão convertidos em *dashboards* ou *spreadsheets*. Os Motores de Busca Corporativos (*Enterprise Search Engine*) permitem a busca rápida por informações a partir de palavras-chave de pesquisa. Os Mecanismos de Análise Textual e Mineração de Dados (*Data Mining, Text Analytic engines*) propiciam análises minuciosas dos dados extraídos dos Servidores de Data Warehouse, além de permitir a exposição de dados relevantes mediante um pesquisa realizada nesta etapa (Chaudhuri et al, 2011).

A última etapa consiste da exposição dos dados finais para os usuários através de *dashboards*, *spreadsheets* e planilhas.

Figura 4 – Arquitetura Hierárquica de um sistema com abordagem BI.



Fonte: Chaudhuri et al (2011).

É importante que os *dashboards*, *spreadsheets* e planilhas sejam didáticos, uma vez que objetivam a exposição de grandes volumes de dados analisados. Recomenda-se sempre a utilização de gráficos coloridos, cujas cores sejam intuitivas à interpretação do tomador de decisão. Por exemplo, indicadores que estejam abaixo do esperado sejam vermelhos, enquanto que aqueles que estiverem condizentes sejam verdes (Pereira, 2015).

Figura 5 – Exemplo de *dashboard*.

Fonte: Microsoft Power BI (2019).

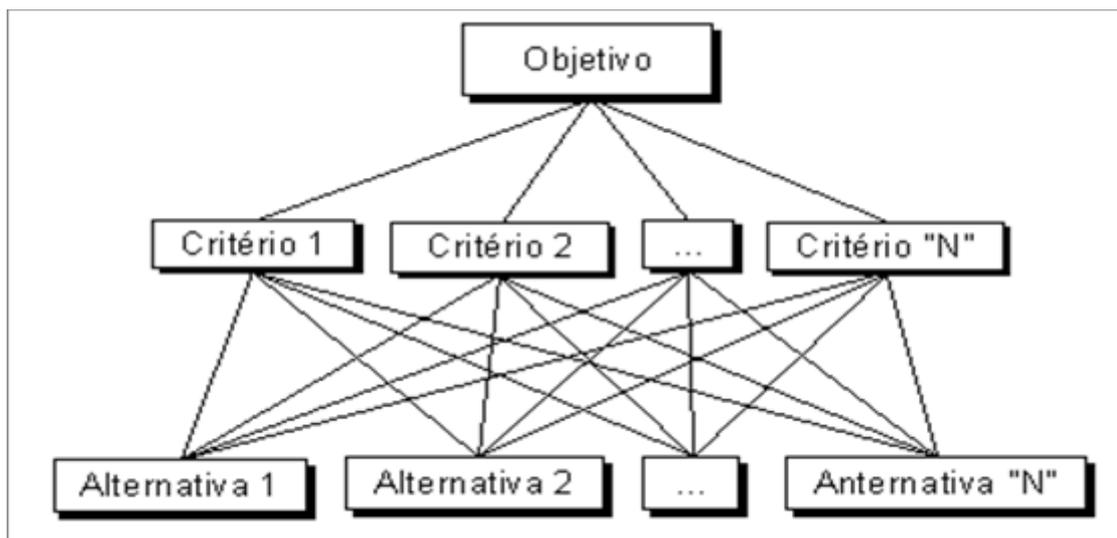
## 2.5 Método da Análise Hierárquica – AHP

Tomar decisões é algo rotineiro e a complexidade deste processo depende do objetivo de cada um. No mundo corporativo, muitas decisões exigem análises minuciosas, as quais requerem o usufruto de métodos adequados. Neste trabalho, será abordado o Método da Análise Hierárquica Analítica – AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

O método AHP foi criado pelo professor Thomas Saaty (1980) e é empregado em situações de tomada de decisões multicritério que consideram indicadores qualitativos e quantitativos. O grande diferencial deste método é a capacidade que ele possui de transformar qualquer parâmetro em um valor numérico através de normalizações em relação a algum valor de referência.

Baseando-se em hierarquias de análise, a ideia geral do método é segregar o problema a ser analisado em níveis hierárquicos, que são analisados sequencialmente, a partir da atribuição de pesos a cada um destes critérios. Esta estrutura, ilustrada na figura 6, tem por objetivo facilitar a visualização do problema pelo tomador de decisões.

Figura 6 – Estrutura Hierárquica do AHP.



Fonte: Saaty (1991).

Para Saaty (1980), o método AHP pode ser resumido pelos seguintes passos:

- I. Escolha dos critérios de análise para o problema apresentado, e determinação de seus pesos.
- II. Determinação da matriz de comparação A do problema.
- III. Análise do autovalor da matriz A para confirmação dos pesos estipulados.
- IV. Cálculo dos valores reais de cada critério, para tomada da decisão.

O primeiro passo da aplicação do método é a determinação dos critérios de comparação e a atribuição de pesos a eles. Conforme Saaty (1980), o peso de um critério é concebido através da comparação dele em relação aos demais, segundo o impacto que causa no resultado final da análise. Em outras palavras, deve-se avaliar qual dos elementos comparados é mais relevante em se tratando de um critério ou exigência de nível hierárquico superior.

Esta atribuição de pesos é realizada conforme os parâmetros apresentados no quadro 2, os quais possibilitam a conversão de hipóteses verbais em números.

Quadro 2 – Comparação entre critérios.

Peso	Intensidade	Parecer
1	Igual Importância	Os dois critérios contribuem igualmente
3	Importância Moderada	Um dos critérios é moderadamente favorável sobre o outro
5	Importância Forte	Um dos critérios é fortemente favorável sobre o outro
7	Importância Muito Forte	Um dos critérios é muito mais favorável sobre o outro
9	Importância Extrema	Um dos critérios é extremamente favorável sobre o outro
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários	Deve-se definir valores intermediários para os critérios

Fonte: O autor. Adaptado de Saaty (1980).

Uma vez atribuídos os devidos pesos a cada critério frente à decisão que deve ser tomada, deve-se montar a matriz A, quadrada com dimensão igual ao número de critérios, de comparação do problema, a qual é explicitada pelo quadro 3 (Saaty, 1980).

Quadro 3 – Matriz A de comparação dos critérios.

Matriz A					
CRITÉRIOS	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	...	N <sub>n</sub>
N <sub>1</sub>	1	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	...	A <sub>1n</sub>
N <sub>2</sub>	A <sub>21</sub>	1	A <sub>23</sub>	...	A <sub>2n</sub>
N <sub>3</sub>	A <sub>31</sub>	A <sub>32</sub>	1	...	A <sub>3n</sub>
...	...	...	...	...	...
N <sub>n</sub>	A <sub>n1</sub>	A <sub>n2</sub>	A <sub>n3</sub>	...	1
SOMA	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	...	S <sub>n</sub>

Fonte: O autor. Adaptado de Saaty (1980).

Onde:

$N_n$  = Critério de número "n"

$A_{ij}$  = Relevância do critério "i" em relação ao critério "j", sendo o índice "i" referente à linha da matriz, e "j" referente à coluna da mesma.

$S_j$  = Soma dos elementos da coluna "j".

A determinação da matriz A é seguida da normalização da mesma em relação à soma dos valores de cada coluna, ou seja, divide-se cada elemento da matriz pela soma de sua respectiva coluna, conforme o quadro 4 mostrado.

Quadro 4 – Matriz A de comparação normalizada.

<b>Matriz A Normalizada</b>					
CRITÉRIOS	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	...	N <sub>n</sub>
N <sub>1</sub>	1 / S <sub>1</sub>	A <sub>12</sub> / S <sub>2</sub>	A <sub>13</sub> / S <sub>3</sub>	...	A <sub>1n</sub> / S <sub>n</sub>
N <sub>2</sub>	A <sub>21</sub> / S <sub>1</sub>	1 / S <sub>2</sub>	A <sub>23</sub> / S <sub>3</sub>	...	A <sub>2n</sub> / S <sub>n</sub>
N <sub>3</sub>	A <sub>31</sub> / S <sub>1</sub>	A <sub>32</sub> / S <sub>2</sub>	1 / S <sub>3</sub>	...	A <sub>3n</sub> / S <sub>n</sub>
...	...	...	...	1	...
N <sub>n</sub>	A <sub>n1</sub> / S <sub>1</sub>	A <sub>n2</sub> / S <sub>2</sub>	A <sub>n3</sub> / S <sub>3</sub>	...	1 / S <sub>n</sub>
SOMA	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	...	S <sub>n</sub>

Fonte: O autor. Adaptado de Saaty (1980).

Uma vez normalizada a matriz, é possível calcular os pesos totais de cada critério de modo a obter-se a matriz de prioridades relativas. Isto é realizado calculando-se a média aritmética dos elementos presentes na linha referente ao critério, conforme explica Saaty (1980).

Quadro 5 – Matriz de Prioridades Relativas

<b>Critério</b>	<b>Prioridade Relativa [%]</b>
N <sub>1</sub>	Pr <sub>1</sub>
N <sub>2</sub>	Pr <sub>2</sub>
N <sub>3</sub>	Pr <sub>3</sub>
...	...
N <sub>n</sub>	Pr <sub>n</sub>
Total	100%

Fonte: O autor. Adaptado de Saaty (1980).

Onde:

$$Pr_1 = \frac{\left[ \left( \frac{1}{S_1} \right) + \left( \frac{A_{12}}{S_2} \right) + \left( \frac{A_{13}}{S_3} \right) + \dots + \left( \frac{A_{1n}}{S_n} \right) \right]}{n} * 100 \quad (7)$$

$$Pr2 = \frac{\left[ \left( \frac{A21}{S1} \right) + \left( \frac{1}{S2} \right) + \left( \frac{A23}{S3} \right) + \dots + \left( \frac{A2n}{Sn} \right) \right]}{n} * 100 \quad (8)$$

$$Pr3 = \frac{\left[ \left( \frac{A31}{S1} \right) + \left( \frac{A32}{S2} \right) + \left( \frac{1}{S3} \right) + \dots + \left( \frac{A3n}{Sn} \right) \right]}{n} * 100 \quad (9)$$

$$Prn = \frac{\left[ \left( \frac{An1}{S1} \right) + \left( \frac{An2}{S2} \right) + \left( \frac{An3}{S3} \right) + \dots + \left( \frac{1}{Sn} \right) \right]}{n} * 100 \quad (10)$$

Sendo “n” a dimensão da matriz A.

A multiplicação da matriz A pela matriz de prioridades relativas resulta no vetor de pesos, ou Vetor de Eigen, que genericamente é apresentado no quadro 6.

Quadro 6 – Vetor de Eigen

Critério	Peso
N <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>
N <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>
N <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>
...	...
N <sub>n</sub>	P <sub>n</sub>

Fonte: O autor. Adaptado de Saaty (1980).

O Vetor de Eigen permite o cálculo do Índice de Consistência, que segundo Saaty (1980) é realizado da seguinte forma:

$$IC = \frac{\lambda_m - n}{n - 1} \quad (11)$$

Onde IC é o Índice de Consistência,  $\lambda_m$  é o maior auto vetor da matriz de pesos e “n” é a dimensão da matriz A.

Conhecendo o Índice de Consistência, parte-se para o cálculo da Taxa de Consistência TC, pela equação (12).

$$TC = \frac{IC}{IA} \quad (12)$$

Sendo IA o Índice de Consistência Aleatório, dado pela tabela do quadro 7. Este parâmetro depende da dimensão “n” da matriz A.

Quadro 7 – Índice de Consistência Aleatório segundo a dimensão “n” da matriz A.

Ordem da matriz A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: O Autor. Adaptado de Saaty (1980).

Conforme Vargas (2010), para que a matriz seja considerada consistente, o valor de TC deve ser inferior a 10%. Caso isto não ocorra, deve-se reavaliar os pesos inicialmente atribuídos aos critérios e os cálculos de IC e TC devem ser refeitos de modo a obter-se um novo parecer sobre o problema.

Por fim, a matriz de comparação e a determinação das prioridades relativas de cada critério do problema devem ser refeitos, de modo que sejam determinadas as prioridades compostas de cada alternativa do problema.

O produto entre a matriz de prioridades relativas e o vetor de pesos dos critérios resultará em um vetor de dimensão  $n \times 1$ , e este será utilizado para a definição da decisão a ser tomada. Em linhas gerais, a priorização das alternativas será feita com base no valor encontrado na linha referente ao índice do critério. O maior valor absoluto será a melhor saída para a problemática, enquanto que o menor será a menos favorável nas circunstâncias propostas (Vargas, 2010).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

No item 3.1 serão apresentadas todas as ferramentas, softwares, materiais e documentos utilizados no desenvolvimento do presente trabalho.

Na sequência, no item 3.2, será mostrado um fluxograma da metodologia do presente trabalho, sendo explicada cada etapa em detalhes.

#### **3.1 Materiais**

Para a realização do presente trabalho, serão utilizados:

a) Computador com acesso à Internet, para permitir a realização de pesquisas e o acesso à materiais bibliográficos.

b) Softwares do pacote Office: Excel, Word e Powerpoint que são utilizados na escrita do presente trabalho, bem como na realização das análises e na produção das apresentações para a banca avaliadora.

c) Ferramentas computacionais internas da Copel DIS e banco de dados: ACT, PET, GASA e GDMaSE, que permitem a aquisição dos dados técnicos necessários para a realização das análises do presente trabalho, iniciando pelo estudo de caso.

d) Documentos normativos da Aneel, que permitem a realização de análises normativas referentes ao Contrato de Concessão, a exemplo dos módulos 2 e 8 do Prodist.

e) Ferramenta computacional para implementação da abordagem BI, ainda a ser definida.

#### **3.2 Métodos**

A metodologia do trabalho foi dividida em cinco partes. A primeira consistiu em um estudo de caso da priorização de obras de subestações de alta tensão da Copel DIS, através da metodologia AHP para quatro futuras subestações de 138 kV a serem construídas nas regiões de Londrina e Maringá (Norte e Noroeste do Paraná, respectivamente). Esta etapa baseou-se na replicação das ferramentas utilizadas pela concessionária para tal atividade. Foram utilizados dados fornecidos pelos sistemas internos da Copel DIS e o software Microsoft Excel.

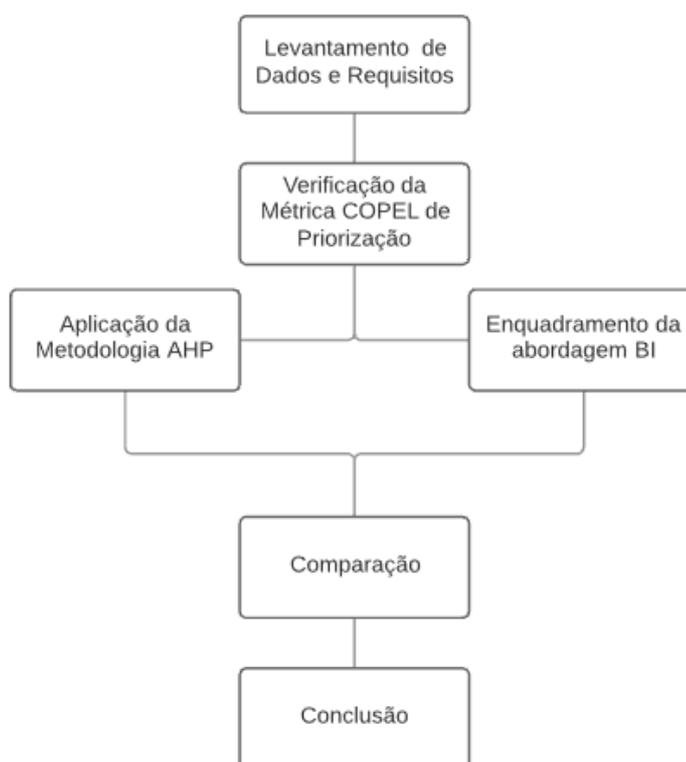
Em sequência, realizou-se uma averiguação para descobrir se a métrica de tomada de decisão multicritério utilizada, o método AHP, é aplicável à metodologia BI, por meio de análises qualitativas. Esta etapa foi seguida do desenvolvimento de uma metodologia de priorização baseada em BI, que é o cerne do presente trabalho.

Uma vez realizadas as etapas descritas, alterações na concepção dos critérios de análise foram propostas. O estudo de caso realizado na primeira parte do trabalho será reavaliado através da nova metodologia proposta, contemplando todas as mudanças realizadas

Por fim, será realizada a comparação entre os resultados do estudo de caso obtidos através das duas métricas, de modo que a nova metodologia possa ser julgada em relação à utilizada anteriormente no tocante a economia de tempo, agilidade, precisão, confiabilidade e simplicidade.

O fluxograma da figura 7 resume de maneira didática o procedimento a ser utilizado neste trabalho.

Figura 7 – Fluxograma da metodologia a ser empregada.



### 3.2.1 Levantamento de dados e requisitos

A priorização de investimentos para obras estruturais do SDAT requer a coleta e o manuseio de uma grande quantidade de dados acerca do conjunto de empreendimentos a ser analisado.

A análise das informações levantadas permite a realização de estudos que visam selecionar obras que teoricamente trazem maiores benefícios no tocante ao fornecimento de energia através dos menores investimentos possíveis. Todavia é inevitável que os objetivos citados gerem discordância entre si uma vez que obras mais robustas requerem maiores montantes de capital investido por parte das concessionárias de energia.

Para a realização do presente trabalho, todos os dados técnicos coletados são provenientes da Copel DIS, através de seus bancos de dados sustentados por medições e estudos teóricos realizados periodicamente, enquanto que os dados e informações normativos provêm dos documentos da revisão tarifária (Aneel), a exemplo da meta DEC 2021.

Os dados foram coletados conforme a necessidade para aplicação na análise dos critérios de priorização das obras segundo a atual métrica utilizada pela divisão de planejamento da expansão do SDAT do Paraná, a qual é composta por seis critérios, sendo eles:

- a) Melhoria do índice DEC;
- b) Melhoria no nível de tensão dos alimentadores de MT;
- c) Melhoria no carregamento dos transformadores de AT;
- d) Melhoria do carregamento de alimentadores de MT;
- e) Melhoria do IAS das SE's;
- f) Redução de perdas técnicas do SDAT.

Os dados para análise de melhoria do DEC para o SDAT do Paraná foram coletados do sistema IQS da Copel DIS. Esta ferramenta fornece números acerca dos indicadores DEC e FEC da concessionária, bem como informações sobre os consumidores de todos os alimentadores do estado, sendo atualizado de mês em mês.

Os dados de carregamento dos transformadores de AT foram coletados do software ACT da concessionária, que permite a visualização de gráficos e tabelas

contendo a informação em questão. Os dados deste programa computacional são diariamente atualizados.

No que se refere aos dados de IAS, estes foram coletados de diversas fontes internas da concessionária. Uma delas é o Mercado por Área de Consumidor (MAD), que projeta o crescimento de carga por ano para um horizonte de dez anos, permitindo que o IAS seja estimado para os anos em que há revisões tarifárias previstas para a distribuidora.

Todos os dados utilizados para análise do carregamento dos alimentadores de MT, sua qualidade quanto ao nível de tensão e as perdas técnicas do SDAT foram levantados do sistema GASA da Copel DIS. Ele permitiu que cada alimentador tivesse seus dados de carregamento, tensão e perdas explicitados e prontos para uso.

### **3.2.2 Verificação da métrica Copel de priorização**

O notável crescimento do setor elétrico trouxe consigo a necessidade de aumento dos investimentos para expansão e melhoria do mesmo.

A demanda por energia elétrica no Paraná cresce em média 3% ao ano e isso se torna visível nos resultados de análise do fluxo de potência em sistemas com tensão superior a 69 kV. Este crescimento requer constantes diagnósticos de carregamento de equipamentos como transformadores de potência, além da verificação periódica da operação de linhas de distribuição para análise da necessidade ou não de obras no sistema.

Nos últimos anos, devido a constantes problemas de contingência no SDAT do Paraná, e de operação de linhas e equipamentos em regime de sobrecarga, um grande volume de obras foi proposto para amenizar os problemas citados, além de almejar a melhoria da confiabilidade operacional do mesmo, de modo a reduzir os índices DEC e FEC. Dentre as obras propostas para expansão e melhoria do SDAT destacam-se:

- Construção de novas SE's AT;
- Construção de novas LDAT's;
- Recapitação e seccionamento de LDATs;
- Re-isolamento de SE's MT, para permitir operação em AT;

A grande quantidade de obras que vem sendo propostas para o SDAT do Paraná requer incrementos anuais nos investimentos para a realização das mesmas.

Inevitavelmente, não há como executar todo o programa de obras de uma só vez, já que o orçamento da concessionária é limitado e a mão de obra é terceirizada. Por isso, as obras são propostas e devem ser priorizadas.

A priorização de obras pode ser feita de diversas maneiras, seja através de análises de viabilidade econômica, necessidade por urgência, análises de viabilidade técnica ou análises matemáticas, sendo esta última a utilizada pela Copel DIS.

A priorização das SE's AT propostas pela concessionária é realizada via Método AHP, criado por Saaty (1980), considerando critérios técnicos, normativos e financeiros.

Resumidamente, o AHP é um método matemático para tomada de decisões multicritério, conforme explicado no item 2.5 do presente trabalho. Ao todo, são seis critérios de análise em conjunto à relação custo/benefício utilizados para comparação entre as alternativas levantadas pela área de planejamento da Copel DIS. Os critérios serão explicitados no item 4.1.2 deste documento.

A presente etapa do trabalho visa a realização de um estudo de caso, que consiste na priorização de um conjunto de quatro SE's 138 kV da Copel DIS. Isto será feito via método AHP, reproduzindo de maneira fiel os procedimentos adotados pela concessionária neste contexto. Os resultados obtidos serão apresentados e discutidos no item 4.1.

### **3.2.3 Aplicação da Metodologia AHP**

O método AHP é utilizado em situações de tomada decisória sustentadas por mais de um critério, havendo a necessidade de julgá-los mediante pesos diferentes, atribuídos de acordo com o contexto no qual será aplicado.

No presente trabalho, o estudo de caso mencionado no item 3.2.1 será realizado através da análise hierárquica dos critérios, por meio do AHP.

Uma vez realizado o estudo de caso, todos os procedimentos e resultados obtidos serão avaliados qualitativamente de modo que se possa posteriormente estudar a viabilidade da aplicação da abordagem BI no contexto apresentado.

### 3.2.4 Enquadramento da abordagem BI

Conforme explicado no item 3.2.3 do presente trabalho, após a obtenção dos resultados do estudo de caso realizado, será feita uma avaliação acerca da metodologia empregada para a priorização do conjunto de obras.

A ideia é levantar pontos que possivelmente poderiam ser melhorados com a aplicação de uma nova metodologia, que contemplará a abordagem de Inteligência de Negócios (BI), a exemplo da agilidade na implementação de novos critérios de análise, e na manutenção daqueles já existentes.

Uma vez listadas as possibilidades de melhoria, será realizada a avaliação das métricas de BI que podem ser implementadas no contexto da priorização de obras da Copel DIS, quanto a sua aplicabilidade teórica, e quanto ao atendimento das necessidades constatadas anteriormente, visando o aproveitamento de recursos já existentes na concessionária, a exemplo dos bancos de dados e softwares citados no item 3.1 do presente trabalho.

#### 3.2.4.1 Caracterização da metodologia

O software selecionado para implementação da metodologia foi o Microsoft Power BI (versão 2.73.5586.1101, desktop, 64-bit), devido à vasta gama de possibilidades que o mesmo oferece frente ao contexto do presente trabalho. Dentre estas possibilidades citadas, destaca-se as que mais influenciaram na escolha desta ferramenta:

a) Possibilidade de armazenamento de dados localmente ou em nuvem: o Power BI permite que a estrutura de análise seja implantada em nuvem, ou em uma rede física de computadores.

b) Conexão com diversas fontes de dados: Há a possibilidade de trabalhar-se com dados provenientes de diferentes fontes de dados simultaneamente, como planilhas no Excel, páginas da web, arquivos de texto, arquivos em nuvem, entre outros.

c) Mobilidade e acessibilidade: O software apresenta as versões *Desktop* e *Mobile*, que podem ser acessados a qualquer momento por meio de computadores ou *smartphones*, não havendo distinção de ferramentas entre as duas versões.

d) Viabilidade de trabalho em paralelo com a técnica de *Big Data*: é possível trabalhar com a abordagem BI em conjunto ao *Big Data* de maneira intuitiva.

e) Abordagem *Self-Service* BI: A ferramenta permite a criação de indicadores e *dashboards* de maneira rápida e intuitiva.

Um fato a ser ressaltado, e que por ser um diferencial do software está sendo descrito separadamente, é que o desenvolvedor libera semanalmente atualizações na ferramenta para inserção de novas funcionalidades, que aumentam ainda mais os haveres do Power BI. Todas as atualizações são provenientes de sugestões da comunidade de usuários do aplicativo, e por isso são de grande importância.

Além disso, neste trabalho considera-se uma possível implementação da metodologia por parte da concessionária, e por isso, a estrutura de computadores, softwares e bancos de dados concernentes a ela devem ser considerados.

### **3.2.5 Comparação e Conclusões**

Por fim, depois de proposta a nova abordagem de priorização das SE's AT e reavaliado o estudo de caso proposto no item 4.1 do presente trabalho, os resultados obtidos via ambas as análises serão confrontados e neste contexto serão levantadas as conclusões acerca da nova metodologia.

A nova metodologia proposta será avaliada frente às expectativas previamente estabelecidas para o problema. Visa-se uma apresentação de resultados mais dinâmica, possibilitando a criação de gráficos interativos que amparem a busca por respostas a impasses ou dúvidas que eventualmente possam aparecer no processo.

Espera-se que a inserção de um novo critério para a análise reduza a TC do problema, tornando a priorização mais segura do ponto de vista técnico.

Também nesta etapa, serão crivadas as diretrizes para a realização de trabalhos futuros dentro do contexto apresentado, de modo que este possa ser aprimorado e ampliado para outros tipos de obras, a exemplo de LDAT's e transformadores de potência.

## **4 RESULTADOS E ANÁLISES**

### **4.1 Estudo de Caso**

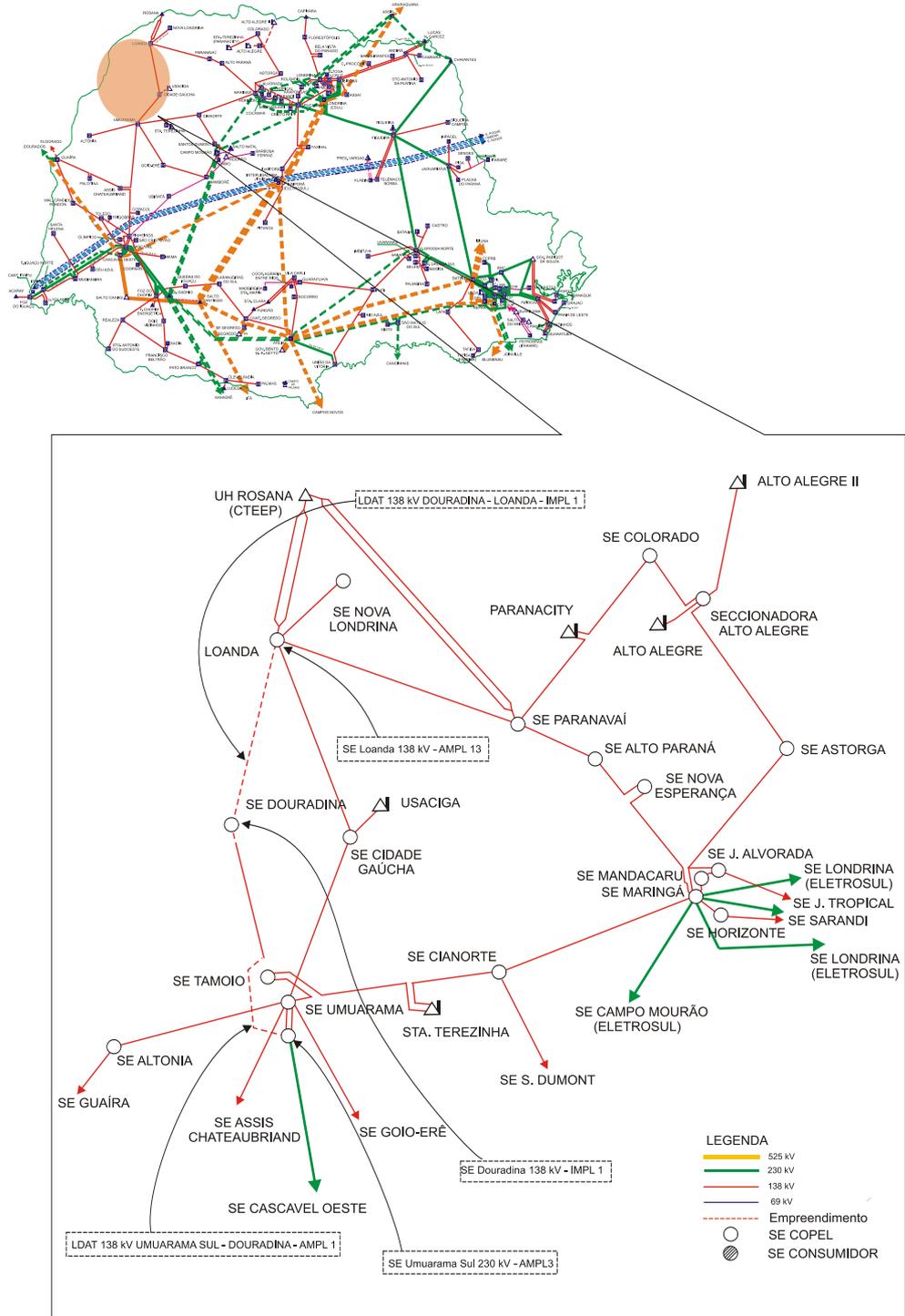
#### **4.1.1 Contextualização**

O presente estudo de caso tem por objetivo aplicar a métrica utilizada pela Copel DIS para priorização de obras de alta tensão, que é o AHP, e obter um resultado que posteriormente será comparado àquele encontrado através do BI e das demais alterações no processo decisório.

Para isso, foram selecionadas quatro subestações 138 / 34,5 / 13,8 kV, futuras, localizadas nas regiões de Londrina e Maringá, no estado do Paraná, na área de concessão da Copel DIS. São elas:

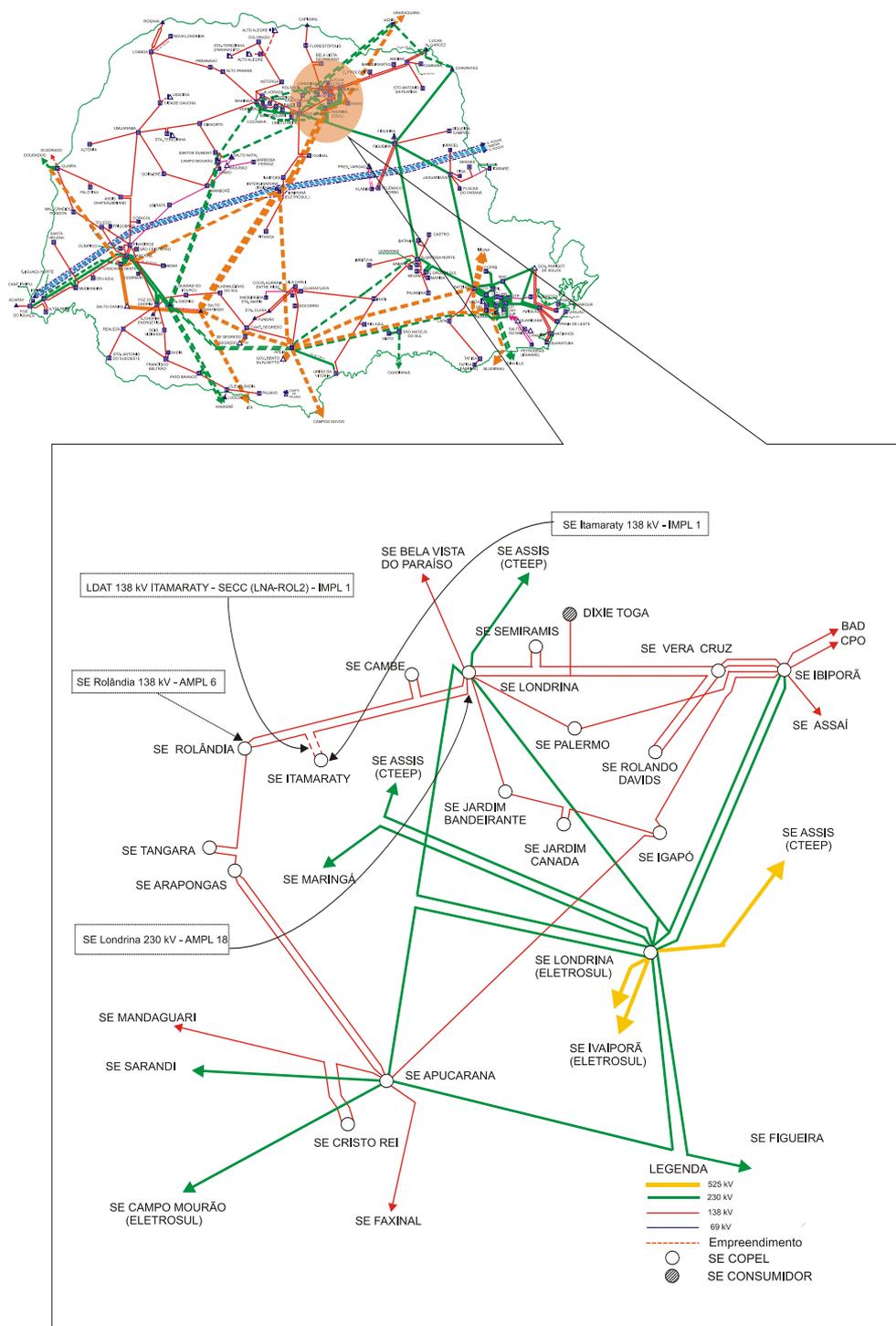
- SE Douradina 138 kV, ilustrada na figura 8;
- SE Itamaraty 138 kV, ilustrada na figura 9;
- SE Jaguapitã 138 kV, ilustrada na figura 10;
- SE Jardim Figueira 138 kV, ilustrada na figura 11.

Figura 8 – Região da SE Douradina 138 kV.



Fonte: Copel DIS (2019).

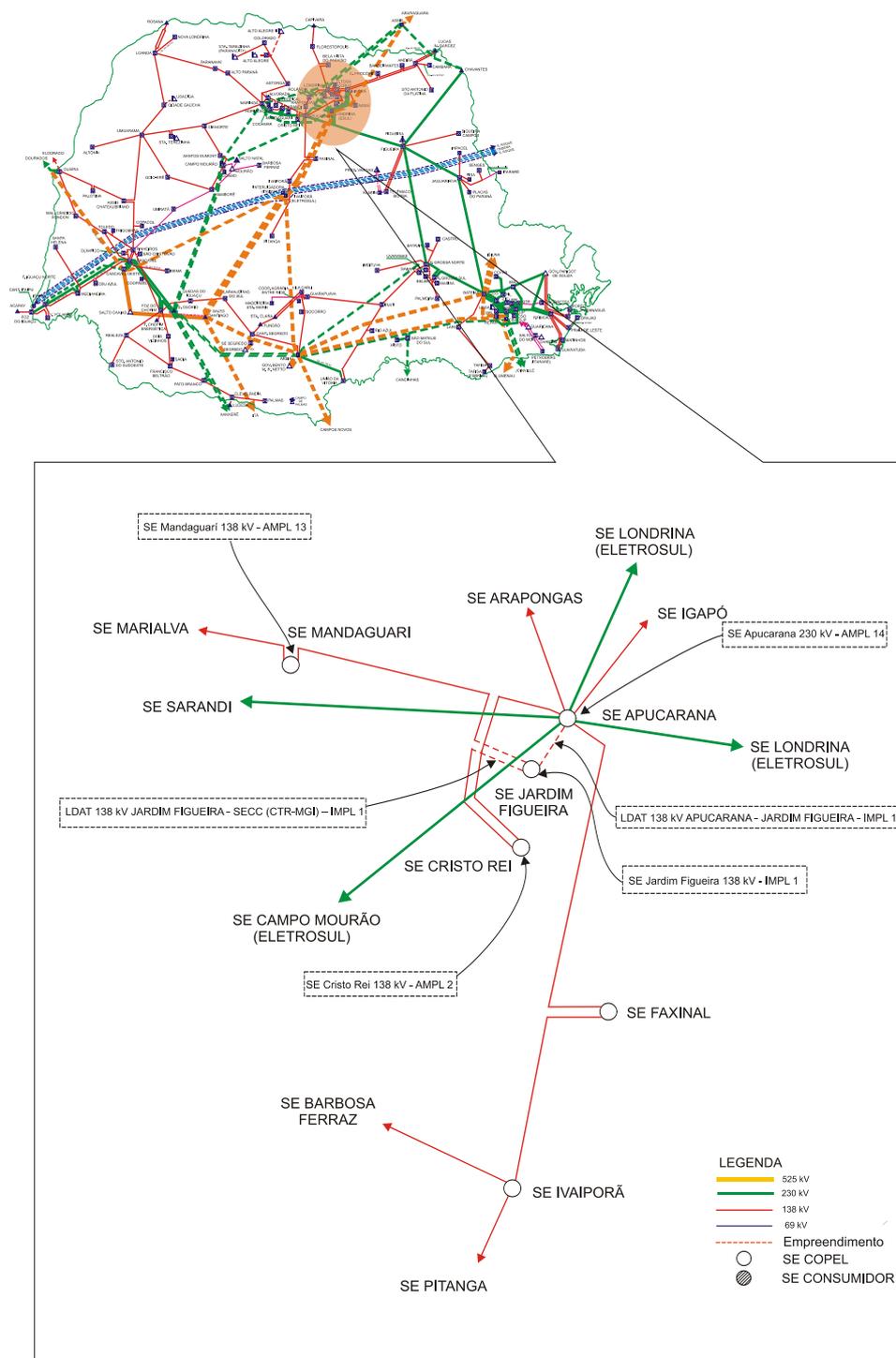
Figura 9 – Região da SE Itamaraty 138 kV.



Fonte: Copel DIS (2019).



Figura 11 – Região da SE Jardim Figueira 138 kV.



Fonte: Copel DIS (2019).

Resumidamente, o processo de priorização adotado neste estudo de caso é dado pelo fluxograma da figura 12.

Figura 12 – Fluxograma de priorização de obras da Copel DIS.



Fonte: O Autor (2019).

Neste item, será descrito o processo de priorização das subestações selecionadas, conforme as informações descritas no item 2.5 do presente trabalho.

#### 4.1.2 Critérios Utilizados para Priorização de Obras

A aplicação do método a um conjunto de obras não priorizadas necessita de parâmetros técnicos e econômicos que permitam a comparação entre as SE's no tocante aos benefícios individuais que cada uma trará após sua energização. Esses parâmetros fazem menção aos critérios explanados no item 2.5.

Neste estudo, serão considerados seis critérios, aos quais serão atribuídos diferentes pesos, conforme suas respectivas relevâncias frente aos problemas encontrados nas regiões onde serão implantadas as obras. As quatro SE's deste estudo apresentam objetivos comuns quanto à melhoria do SEP, visto que as dificuldades técnicas encontradas são semelhantes, sendo elas: Redução de carregamento em alimentadores de média tensão (13,8 kV e 34,5 kV), melhoria dos índices DEC e FEC e aumento da confiabilidade do sistema quanto ao atendimento de cargas.

Os critérios considerados são:

- a) Benefício pela melhoria do DEC: É a quantidade total de consumidores que devem ter seu índice DEC reduzido devido à energização de uma nova SE. Será chamado de critério “A”.
- b) Redução no carregamento em alimentadores de média tensão: É a quantidade de consumidores que, em teoria, deveriam deixar de ser atendidos pelo alimentador para que seu carregamento seja próximo de 60% para tensão de 13,8 kV e 50% para tensão de 34,5 kV. Ressalta-se que as porcentagens apresentadas são em relação à capacidade nominal do alimentador. Será chamado de critério “B”.
- c) Redução no carregamento em transformadores de alta tensão: É a quantidade de consumidores que, em teoria, deveriam deixar de ser atendidos para que o carregamento nos transformadores de alta tensão das SE's seja de 100%, ou seja, igual ao seu valor nominal. Será chamado de critério “C”.
- d) Melhoria na tensão em alimentadores de média tensão: É a quantidade de consumidores que deveriam deixar de ser atendidos para que a tensão no alimentador chegue a 93,5% de sua capacidade nominal. Será chamado de critério “D”.
- e) Glosa por IAS: É a quantidade de novos consumidores que podem ser atendidos por uma nova SE sem prejuízo no IAS das SE's fonte. Será chamado de critério “E”.
- f) Redução de perdas técnicas: É a quantidade de novos consumidores que serão atendidos pela redução de perdas em alimentadores. Será chamado de critério “F”.

#### **4.1.3 Pesos dos Critérios**

Como especificado no item 2.5 do presente trabalho, é fundamental que seja atribuído um peso a cada um dos seis critérios explicitados no item 3.1.2. Esta atribuição pode ser feita de diversas maneiras, sendo que para esta análise, foi realizado um senso entre os colaboradores da área, onde cada um opinou sobre a importância de cada critério, sugerindo um peso parcial individual. Cada valor coletado

foi analisado segundo a as informações do quadro 2 do item 2.5 por meio de uma planilha automatizada na ferramenta Microsoft Excel, conforme ilustrada na figura 13.

Figura 13 – Planilha utilizada para determinação da Matriz A.

<b>PRIORIZAÇÃO DE SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO</b>	
Planilha de "Pesos" dos Critérios	
<b>[A] Benefício pela Melhoria do DEC:</b>	
4) É MAIS importante que	[B] Redução no Carregamento em Alimentadores Média Tensão
4) É MAIS importante que	[C] Redução no Carregamento em Transformadores Alta Tensão
5) É TÃO importante quanto	[D] Melhoria na Tensão em Alimentadores Média Tensão
3) É muito MAIS importante que	[E] Glosa por IAS
3) É muito MAIS importante que	[F] Redução das Perdas Técnicas
<b>[B] Redução no Carregamento em Alimentadores Média Tensão</b>	
4) É MAIS importante que	[C] Redução no Carregamento em Transformadores Alta Tensão
5) É TÃO importante quanto	[D] Melhoria na Tensão em Alimentadores Média Tensão
4) É MAIS importante que	[E] Glosa por IAS
3) É muito MAIS importante que	[F] Redução das Perdas Técnicas
<b>[C] Redução no Carregamento em Transformadores Alta Tensão</b>	
4) É MAIS importante que	[D] Melhoria na Tensão em Alimentadores Média Tensão
4) É MAIS importante que	[E] Glosa por IAS
3) É muito MAIS importante que	[F] Redução das Perdas Técnicas
<b>[D] Melhoria na Tensão em Alimentadores Média Tensão</b>	
3) É muito MAIS importante que	[E] Glosa por IAS
4) É MAIS importante que	[F] Redução das Perdas Técnicas
<b>[E] Glosa por IAS</b>	
4) É MAIS importante que	[F] Redução das Perdas Técnicas

Fonte: O Autor (2019).

O peso parcial a ser utilizado no estudo foi determinado calculando-se a média aritmética dos pesos parciais individuais atribuídos através da enquete realizada, que concebeu a matriz A do problema, apresentada no quadro 8.

Quadro 8 – Matriz A do Estudo.

Matriz de comparação dos Critérios (A)						
Critério	A	B	C	D	E	F
A	1,000	3,000	3,000	1,000	5,000	5,000
B	0,333	1,000	3,000	1,000	3,000	5,000
C	0,333	0,333	1,000	3,000	3,000	5,000
D	1,000	1,000	0,333	1,000	5,000	3,000
E	0,200	0,333	0,333	0,200	1,000	3,000
F	0,200	0,200	0,200	0,333	0,333	1,000
Soma	3,067	5,867	7,867	6,533	17,333	22,000

Fonte: O Autor (2019).

De posse da matriz A, tem-se a forma normalizada da mesma, que é apresentada pelo quadro 9.

Quadro 9 – Matriz A normalizada.

Matriz A normalizada						
Critério	A	B	C	D	E	F
A	0,326	0,511	0,381	0,153	0,288	0,227
B	0,109	0,170	0,381	0,153	0,173	0,227
C	0,109	0,057	0,127	0,459	0,173	0,227
D	0,326	0,170	0,042	0,153	0,288	0,136
E	0,065	0,057	0,042	0,031	0,058	0,136
F	0,065	0,034	0,025	0,051	0,019	0,045

Fonte: O Autor (2019).

Conforme explicado no item 2.5, a matriz A normalizada permite a obtenção da matriz de prioridades relativas, a partir do cálculo da média aritmética dos elementos presentes em cada linha da matriz A.

A Matriz de prioridades relativas é explicitada no quadro 10.

Quadro 10 – Matriz de Prioridades Relativas

Critério	Prioridade Relativa [%]
A	31,46
B	20,23
C	19,20
D	18,61
E	6,48
F	4,00
Total	100

Fonte: O Autor (2019).

O produto da Matriz A normalizada, mostrada no quadro 9, pela Matriz de Prioridades Relativas do quadro 10 permite que seja, por fim, determinado o Vetor de Eigen do problema, mostrado no quadro 11. Este vetor é utilizado para aferição da consistência dos pesos calculados, conforme explicado no item 2.5 do presente trabalho.

Quadro 11 – Vetor de Eigen do Estudo de Caso.

Critério	Vetor Pesos
A	2,2076
B	1,4637
C	1,3170
D	1,2110
E	0,4164
F	0,2654

Fonte: O Autor (2019).

Aplicando a equação (11) do item 2.5, calculamos o Índice de Consistência do Vetor de Eigen, sabendo que o maior autovalor da matriz da figura 17,  $\lambda_m$ , é igual a 6,7798.

$$IC = \frac{\lambda_m - n}{n - 1} = \frac{6,7798 - 6}{6 - 1} \quad (13)$$

$$IC = 0,1560 \quad (14)$$

Dando sequência na determinação dos pesos dos critérios, conforme o item 2.5, deve-se calcular a Taxa de Consistência (TC) considerando o valor de IC dado por (13). Para o problema em questão, o valor mínimo adotado da TC será de 15%, ao contrário do que sugere Vargas (2010). Este desalinhamento se deve ao fato de que a afirmação de Vargas (2010) não impõe uma regra para o método, e sim uma sugestão. Este valor pode ser alterado conforme as características do problema, o que é realizado no presente trabalho, já que a partir de uma breve análise qualitativa dos pesos calculados no Vetor de Eigen verifica-se adequação dos pesos frente às características do problema analisado.

A TC do problema é dada pela equação (12) do item 2.5. Consultando as informações do quadro 7, para  $n = 6$ , temos que o Índice de Consistência Aleatório (IA) é:

$$IA = 1,24 \quad (15)$$

Aplicando na equação (12), calcula-se o TC do problema:

$$TC = \frac{0,1560}{1,24} \quad (16)$$

$$TC = 0,1258 \quad (17)$$

Expressando o valor encontrado em (17) através de porcentagem, tem-se que a Taxa de Consistência é igual a 12,58%. Isso significa que os pesos dos critérios estão adequados para a análise, já que:

$$TC < 15\% \quad (18)$$

Uma vez definidos os pesos de cada critério, parte-se para o procedimento de priorização das SE's, no item 3.1.6 do presente trabalho. Todavia, antes serão expostas as premissas de análise no item 3.1.4 e os dados levantados, no item 3.1.5, cruciais para o desenvolvimento do processo.

#### 4.1.4 Premissas de Análise

Para a análise do caso, consideram-se as seguintes premissas:

- Um fator de multiplicação será aplicado ao critério (a) do item 3.1.2 em função da quantidade de SE's adjacentes que estão em um raio de 3 km da nova SE. Este fator refere-se à possibilidade de remanejamento de carga entre as SE's analisadas.
- Se uma nova SE remaneja carga de outra cujo IAS é menor que 100%, o critério e) do item 3.1.2 terá valor negativo, ou seja, a quantidade de consumidores deste critério será subtraída da comparação realizada entre as alternativas.
- Uma nova subestação remaneja 50% da carga de um alimentador. Este valor é uma média inferida de estudos anteriores, baseado em análises empíricas, ou seja, em análises do comportamento do SEP na região da SE, após sua energização.
- Todos os critérios resultarão em valores normalizados em função do número de consumidores das SE's em questão.
- Todos os dados apresentados neste estudo são referentes ao período compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2018.
- Os valores referentes ao índice DEC são dados em horas.

- Todas as SE's analisadas atualmente são 34,5 kV e serão reconstruídas para operar em 138 kV.

#### 4.1.5 Dados das SE's

Todos os dados e informações referentes às SE's que consistem este estudo de caso foram obtidos de sistemas internos da Copel DIS.

Este item irá expor todos os dados base utilizados nas análises, bem como suas fontes. Informações mais específicas serão explicitadas no decorrer do estudo de caso.

O quadro 12 mostra todos os alimentadores de média tensão pertencentes a cada uma das futuras SE's analisadas, suas respectivas tensões de operação e número de consumidores.

Quadro 12 – Dados dos Alimentadores de MT.

NOVA SE	ALIMENTADOR	TENSÃO [kV]	Nº DE CONSUMIDORES
Itamaraty 138 kV	Caramuní	13,8	60
	Germania	13,8	2994
	Portal do Sol	13,8	983
	Santo Amaro	34,5	3
	Esmeralda	13,8	3577
	Santos Dumont	13,8	3933
	Atalaia	13,8	30
	Panama	13,8	11
Jaguapitã 138 kV	Itamaraty	34,5	0
	Guairacá	34,5	29
	Jaguapitã	34,5	4
	Bandeirantes	13,8	1713
	Casa Branca	13,8	649
	Maranhão	13,8	2903
Jardim Figueira 138 kV	Miraselva	34,5	0
	Cambira	34,5	0
	Jardim Figueira	34,5	7
	Curtumes	13,8	3161
	Oswaldo Cruz	13,8	5846
	Urânio	13,8	1964
	Capanema	13,8	3235
	Cerealista	13,8	2242
	Lagoão	13,8	1876
	Matadouro	13,8	1274
Douradina 138 kV	Pirapó	13,8	1819
	Gazin	13,8	1297
	Ivate	13,8	2613
	Junqueira	13,8	2693
	LD EXP UMU/MHA	34,5	970
	Serra dos Dourados	34,5	0
Santa Felicidade	13,8	318	

Fonte: Copel DIS (2019).

##### 4.1.5.1 Dados de DEC

O quadro 13 apresenta os dados referentes ao índice DEC de cada alimentador pertencente às SE's analisadas.

Quadro 13 – Dados de DEC das SE's.

NOVA SE	ALIMENTADOR	TENSÃO [kV]	Nº DE CONSUMIDORES	DEC REALIZADO	DEC DO CONJUNTO	META DEC 2021
Itamaraty 138 kV	Caramuru	13,8	60	4,28	6,81	6
	Germania	13,8	2994	5,79	6,81	6
	Portal do Sol	13,8	983	7,95	6,81	6
	Santo Amaro	34,5	3	47,87	4,75	6
	Esmeralda	13,8	3577	5,85	6,81	6
	Santos Dumont	13,8	3933	2,75	6,81	6
	Atalaia	13,8	30	0,00	6,81	6
	Panama	13,8	11	7,35	6,81	6
Jaguapitã 138 kV	Itamaraty	34,5	0	0,00	6,81	6
	Guairacá	34,5	29	19,31	8,62	10
	Jaguapitã	34,5	4	6,55	8,62	10
	Bandeirantes	13,8	1713	5,73	8,62	10
	Casa Branca	13,8	649	3,43	8,62	10
	Maranhão	13,8	2903	5,87	8,62	10
Jardim Figueira 138 kV	Miraselva	34,5	0	0,00	9,76	9
	Cambira	34,5	0	0,00	8,94	8
	Jardim Figueira	34,5	7	3,73	8,94	8
	Curtumes	13,8	3161	9,95	4,30	7
	Oswaldo Cruz	13,8	5846	3,43	4,30	7
	Urânio	13,8	1964	4,95	4,30	7
	Capanema	13,8	3235	3,19	8,94	8
	Cerealista	13,8	2242	6,59	8,94	8
	Lagoão	13,8	1876	5,58	8,94	8
	Matadouro	13,8	1274	7,90	8,94	8
Douradina 138 kV	Pirapó	13,8	1819	11,28	8,94	8
	Gazin	13,8	1297	14,24	8,79	10
	Ivate	13,8	2613	12,81	8,79	10
	Junqueira	13,8	2693	8,89	8,79	10
	LD EXP UMU/MHA	34,5	970	37,62	8,79	10
	Serra dos Dourados	34,5	0	0,00	5,09	10
Santa Felicidade	13,8	318	9,90	8,79	10	

Fonte: Copel DIS (2019).

#### 4.1.5.2 Dados de Carregamento e Tensão dos Alimentadores

O quadro 14 apresenta os dados referentes ao carregamento e ao comportamento da tensão de cada alimentador pertencente às SE's analisadas.

Quadro 14 – Dados de Carregamento e Tensão dos Alimentadores.

NOVA SE	ALIMENTADOR	TENSÃO [kV]	CARR. [MVA]	P. ATIVA [kW]	P. REATIVA [kVAR]	P. APARENTE [MVA]	TENSÃO MÍN. [V]
Itamaraty 138 kV	Caramuru	13,8	1,45	3397,00	1436,00	3,69	13239
	Germania	13,8	4,34	2930,00	1717,00	3,40	13591
	Portal do Sol	13,8	3,44	1354,00	745,00	1,55	13533
	Santo Amaro	34,5	0,01	3971,00	272,00	3,98	13590
	Esmeralda	13,8	2,42	2839,00	1114,00	3,05	13495
	Santos Dumont	13,8	3,76	2597,00	374,00	2,62	13450
	Atalaia	13,8	0,06	7600,00	2493,00	8,00	33740
	Panama	13,8	0,46	2389,00	342,00	2,41	13364
Jaguapitã 138 kV	Itamaraty	34,5	9,20	1100,00	300,00	1,14	34500
	Guairacá	34,5	8,47	2054,00	1186,00	2,37	13377
	Jaguapitã	34,5	28,11	600,00	356,00	0,70	13551
	Bandeirantes	13,8	2,47	4602,00	1922,00	4,99	13310
	Casa Branca	13,8	0,90	8589,00	403,00	8,60	33047
	Maranhão	13,8	5,42	7639,00	3542,00	8,42	32548
	Miraselva	34,5	4,91	4377,00	1976,00	4,80	32934
	Jardim Figueira 138 kV	Cambira	34,5	8,44	2642,00	844,00	2,77
Jardim Figueira		34,5	16,79	2045,00	719,00	2,17	13353
Curtumes		13,8	4,61	1501,00	539,00	1,59	12847
Oswaldo Cruz		13,8	6,62	3658,00	889,00	3,76	13350
Urânio		13,8	4,17	5089,00	851,00	5,16	12924
Capanema		13,8	5,56	5325,00	1349,00	5,49	32612
Cerealista		13,8	3,93	13786,00	4155,00	14,40	33785
Lagoão		13,8	4,11	4117,00	1481,00	4,38	13321
Matadouro		13,8	2,71	3237,00	1275,00	3,48	13200
Douradina 138 kV	Pirapó	13,8	1,64	4251,00	2381,00	4,87	13049
	Gazin	13,8	1,79	3165,00	1849,00	3,67	12964
	Ivate	13,8	1,83	538,00	126,00	0,55	13267
	Junqueira	13,8	2,72	1571,00	621,00	1,69	12988
	LD EXP UMU/MHA	34,5	8,95	1316,00	720,00	1,50	13234
	Serra dos Dourados	34,5	7,75	5707,00	4797,00	7,46	32515
	Santa Felicidade	13,8	0,34	7620,00	4127,00	8,67	31756

Fonte: Copel DIS (2019).

#### 4.1.5.3 Dados de Carregamento de Transformadores de Alta Tensão

O quadro 15 apresenta os dados referentes ao carregamento dos transformadores de alta tensão operando nas respectivas SE's Mãe daquelas 34,5 kV analisadas.

Quadro 15 – Dados de Carregamento de Transformadores de Alta Tensão.

NOVA SE	ALIMENTADOR	TENSÃO [kV]	SE MÃE	Nº CONS. SE MÃE	DEMANDA SE MÃE 2021 [%]
Itamaraty 138 kV	Caramurú	13,8	Rolândia	32378	76,12
	Germania	13,8	Rolândia	32378	76,12
	Portal do Sol	13,8	Rolândia	32378	76,12
	Santo Amaro	34,5	Rolândia	32378	76,12
	Esmeralda	13,8	Rolândia	32378	76,12
	Santos Dumont	13,8	Rolândia	32378	76,12
	Atalaia	13,8	Rolândia	32378	76,12
	Panama	13,8	Rolândia	32378	76,12
Jaguapitã 138 kV	Itamaraty	34,5	Londrina	50932	90,15
	Guairacá	34,5	Astorga	26354	51,47
	Jaguapitã	34,5	Astorga	26354	51,47
	Bandeirantes	13,8	Astorga	26354	51,47
	Casa Branca	13,8	Astorga	26354	51,47
	Maranhão	13,8	Astorga	26354	51,47
Jardim Figueira 138 kV	Miraselva	34,5	Florestópolis	22519	38,87
	Cambira	34,5	Apucarana	10889	95,52
	Jardim Figueira	34,5	Apucarana	10889	95,52
	Curtumes	13,8	Apucarana	10889	95,52
	Oswaldo Cruz	13,8	Apucarana	10889	95,52
	Urânio	13,8	Apucarana	10889	95,52
	Capanema	13,8	Apucarana	10889	95,52
	Cerealista	13,8	Apucarana	10889	95,52
	Lagoão	13,8	Cristo Rei	16409	44,09
	Matadouro	13,8	Cristo Rei	16409	44,09
Douradina 138 kV	Pirapó	13,8	Cristo Rei	16409	44,09
	Gazin	13,8	Umuarama	6939	71,60
	Ivate	13,8	Umuarama	6939	71,60
	Junqueira	13,8	Umuarama	6939	71,60
	LD EXP UMU/MHA	34,5	Umuarama	6939	71,60
	Serra dos Dourados	34,5	Umuarama	6939	71,60
Santa Felicidade	13,8	Tamoio	32309	54,55	

Fonte: Copel DIS (2019).

#### 4.1.5.4 Dados de IAS

Os dados base utilizados para as análises referentes ao IAS das SE's estão representados no quadro 15.

#### 4.1.5.5 Dados de Perdas Técnicas

Os dados utilizados para as análises referentes às perdas técnicas das SE's estão explicitados no quadro 16.

Quadro 16 – Dados de Perdas Técnicas.

NOVA SE	ALIMENTADOR	TENSÃO [kV]	Nº DE CONSUMIDORES	CONSUMO [kWh]	CONSUMO MENSAL [kWh]
Itamaraty 138 kV	Caramuru	13,8	60	1531708	0,667
	Germania	13,8	2994	15143	0,637
	Portal do Sol	13,8	983	329943	7,391
	Santo Amaro	34,5	3	23317	2,491
	Esmeralda	13,8	3577	1176381	1,579
	Santos Dumont	13,8	3933	1182795	0,398
	Atalaia	13,8	30	3076808	0,941
	Panama	13,8	11	760248	0,285
Jaguapitã 138 kV	Itamaraty	34,5	0	0	323,517
	Guairacá	34,5	29	1043603	0,813
	Jaguapitã	34,5	4	397351	0,814
	Bandeirantes	13,8	1713	2089157	0,909
	Casa Branca	13,8	649	4304375	23,172
	Maranhão	13,8	2903	4184414	193,723
Jardim Figueira 138 kV	Miraselva	34,5	0	1627782	12,354
	Cambira	34,5	0	974999	0,692
	Jardim Figueira	34,5	7	1059629	1,271
	Curtumes	13,8	3161	500733	0,364
	Osvaldo Cruz	13,8	5846	1324780	0,803
	Urânio	13,8	1964	1822154	0,763
	Capanema	13,8	3235	2283903	1,836
	Cerealista	13,8	2242	5969050	921,150
	Lagoão	13,8	1876	2010694	0,466
	Matadouro	13,8	1274	1214505	0,784
Douradina 138 kV	Pirapó	13,8	1819	1764799	0,739
	Gazin	13,8	1297	835327	0,406
	Ivate	13,8	2613	107054	0,463
	Junqueira	13,8	2693	559556	0,289
	LD EXP UMU/MHA	34,5	970	663221	0,693
	Serra dos Dourados	34,5	0	3384929	4,262
Santa Felicidade	13,8	318	2666984	1,979	

Fonte: Copel DIS (2019).

#### 4.1.6 Priorização do Conjunto de Obras

A priorização das SE's propostas baseia-se na determinação do número de consumidores, por alimentador, que serão beneficiados pelo critério individual analisado. Após a análise dos seis indicadores, todas as SE's serão avaliadas mediante os pesos estabelecidos no item 4.1.3 desta seção, gerando uma pontuação ao final do processo.

O ranking de prioridade das obras será concebido em ordem crescente, ou seja, quanto maior a pontuação, mais impactante será a energização da obra para os consumidores atendidos.

Neste item, cada um dos seis critérios serão abordados conforme realizada a análise.

#### **4.1.6.1 Benefício pela Melhoria do DEC**

Com os dados expostos no quadro 17, foi calculado um parâmetro auxiliar de análise, que consiste na multiplicação entre o DEC realizado do alimentador e o número de consumidores do mesmo, para cada alimentador das SE's.

O valor encontrado foi dividido pela meta DEC estipulada pela Aneel para o ano de 2021, que é o primeiro ano após o 3º ciclo de revisão tarifária da Copel DIS, sendo este de 9,29 horas.

Os resultados de todos os alimentadores foram somados conforme suas respectivas SE's de origem, e ao final foram multiplicados por um fator de remanejamento de carga, conforme explicado no item 4.1.4. Isso justifica o porquê muitos alimentadores não influenciam na melhoria do índice DEC da SE como um todo, frente ao número de consumidores atendidos pela mesma.

Ao final do processo, obteve-se o resultado conforme o quadro 17, que representa uma das planilhas utilizadas no software Microsoft Excel.

Quadro 17 – Planilha utilizada com resultados da análise de melhoria do DEC.

NOVA SE	ALIMENTADOR	SE ORIGEM	DEC	Consum.	kWh do alimentador	Consumidores beneficiados	Fator de ponderação	[A] Consumidores Beneficiados	TOTAL
Itamaraty	Caramuru	Itamaraty 34,5 kV	4,28	60	257	26	0%	0	1629
	Germania	Itamaraty 34,5 kV	5,79	2994	17335	1771	0%	0	
	Portal do Sol	Itamaraty 34,5 kV	7,95	983	7815	798	0%	0	
	Santo Amaro	Londrina	47,87	3	144	15	50%	7	
	Esmeralda	Rolândia	5,85	3577	20925	2138	50%	1069	
	Santos Dumont	Rolândia	2,75	3933	10816	1105	50%	552	
	Atalaia	Itamaraty 34,5 kV	0	30	0	0	0%	0	
Jaguapitã	Panama	Itamaraty 34,5 kV	7,35	11	81	8	0%	0	2863
	Itamaraty	Rolândia	0	0	0	0	100%	0	
	Guairacá	Astorga	19,31	29	560	57	50%	2860	
	Jaguapitã	Astorga	6,55	4	26	3	100%	3	
	Bandeirantes	Jaguapitã 34,5 kV	5,73	1713	9815	1003	0%	0	
	Casa Branca	Jaguapitã 34,5 kV	3,43	649	2226	227	0%	0	
	Maranhão	Jaguapitã 34,5 kV	5,87	2903	17041	1741	0%	0	
Jardim Figueira	Miraselva	Florestópolis	0	0	0	0	50%	0	3130
	Cambira	Apucarana	0	0	0	0	50%	0	
	Jardim Figueira	Apucarana	3,73	7	26	3	100%	3	
	Curtumes	Cristo Rei	9,95	3161	31452	3213	50%	1606	
	Osvaldo Cruz	Cristo Rei	3,43	5846	20052	2048	50%	1024	
	Uranio	Cristo Rei	4,95	1964	9722	993	50%	497	
	Capanema	Jardim Figueira 34,5 kV	3,19	3235	10320	1054	0%	0	
	Cerealista	Jardim Figueira 34,5 kV	6,59	2242	14775	1509	0%	0	
	Lagoão	Jardim Figueira 34,5 kV	5,58	1876	10468	1069	0%	0	
	Matadouro	Jardim Figueira 34,5 kV	7,9	1274	10065	1028	0%	0	
Douradina	Pirapó	Jardim Figueira 34,5 kV	11,28	1819	20518	2096	0%	0	5347
	Gazin	Douradina 34,5 kV	14,24	1297	18469	1887	0%	0	
	Ivate	Douradina 34,5 kV	12,81	2613	33473	3419	50%	1710	
	Junqueira	Douradina 34,5 kV	8,89	2693	23941	2446	0%	0	
	LD EXP UMU/MHA	Umuarama	37,62	970	36491	3728	100%	3728	
	Serra dos Dourados	Tamoio	0	0	0	0	50%	0	
Santa Felicidade	Douradina 34,5 kV	9,9	318	3148	322	0%	0		

Fonte: O Autor (2019).

#### 4.1.6.2 Redução no Carregamento em Alimentadores de Média Tensão

Conhecidos os valores de potência ativa e reativa de cada alimentador, foi estimado o valor da potência aparente destes.

De posse do número de consumidores de cada alimentador conforme quadro 12, dividindo-se a potência ativa de cada um pela quantidade de consumidores respectiva, tem-se a potência requerida por consumidor, que será usada para determinar a melhoria de carregamento dos alimentadores.

A partir da determinação do valor de potência aparente de cada alimentador, este foi transformado para valor em p.u. e em seguida comparado com o valor de planejamento. Este valor de planejamento corresponde ao valor máximo de carregamento calculado para cada alimentador, sendo de 60% para condutores em 34,5 kV e 50% para condutores em 13,8 kV. Com isso foi possível determinar o quanto de carga teoricamente poderia ser adicionado ou teria de ser removida do alimentador

para que este apresente um carregamento de 1 pu. Um valor de corte negativo indica que teoricamente mais carga poderia ser acrescentada naquele alimentador, enquanto que, um valor positivo indica que o alimentador está operando em sobrecarga, cujo valor é dado pela subtração explicada anteriormente.

Caso o valor calculado exceda o valor de planejamento, determinou-se quantos kW teriam que ser removidos do alimentador para que seu carregamento atingisse o valor nominal. A divisão deste valor, pela potência média individual de cada consumidor incorreu no número de consumidores beneficiados pela redução de carregamento dos alimentadores. Os resultados são expostas no quadro 18.

Quadro 18 - Planilha utilizada com resultados da análise de redução do carregamento dos alimentadores.

	ALIMENTADOR	V NOM	KW AL	KVAR AL	MVA ALIMENT	i ALIMENT	% CARREG Calculado	% sobrecarga LIMITE PLANEJ	Corte kW atingir CarregMáx	[B] Redução no Carregamento em Alimentadores Média Tensão	TOTAL
Itamaraty	GERMANIA	13800	3.397	1.436	3,69	154,30	35,11%	1,54%	161,77	243	1602
	ATALAIA	13800	2.930	1.717	3,40	142,08	32,33%	-8,44%	0,00	0	
	CARAMURU	13800	1.354	745	1,55	64,66	14,71%	-20,48%	0,00	0	
	PANAMA	13800	3.971	272	3,98	166,52	37,89%	-14,92%	0,00	0	
	PORTAL DO SOL	13800	2.839	1.114	3,05	127,59	29,03%	-7,66%	0,00	0	
	SANTOS DUMONT	13800	2.597	374	2,62	109,77	24,98%	1,45%	152,32	383	
	ITAMARATY	34500	7.600	2.493	8,00	133,85	30,46%	3,50%	919,15	977	
	ESMERALDA	13800	2.389	342	2,41	100,97	22,97%	-15,39%	0,00	0	
Jaguapitã	SANTO AMARO	34500	1.100	300	1,14	19,08	4,34%	-44,81%	0,00	0	2487
	BANDEIRANTES	13800	2.054	1.186	2,37	99,23	23,71%	-16,86%	0,00	0	
	CASA BRANCA	13800	600	356	0,70	29,19	6,64%	-37,40%	0,00	0	
	MARANHAO	13800	4.602	1.922	4,99	208,65	49,86%	16,34%	1634,52	1798	
	JAGUAPITA	34500	8.589	403	8,60	143,89	34,38%	59,98%	14999,81	647	
	GUAIRACA	34500	7.639	3.542	8,42	140,91	44,09%	42,61%	8138,17	42	
Jd Figueira	MIRASELVA	34500	4.377	1.976	4,80	80,37	25,14%	-14,26%	0,00	0	9348
	LAGOAO	13800	2.642	844	2,77	116,04	27,73%	-11,80%	0,00	0	
	MATADOURO	13800	2.045	719	2,17	90,69	21,67%	25,08%	2508,80	1974	
	PIRAPO	13800	1.501	539	1,59	66,72	28,43%	-15,13%	0,00	0	
	CEREALISTA	13800	3.658	889	3,76	157,49	37,63%	-1,47%	0,00	0	
	CAPANEMA	13800	5.089	851	5,16	215,86	51,58%	8,75%	875,28	1147	
	CAMBIRA	34500	5.325	1.349	5,49	91,93	28,76%	-2,20%	0,00	0	
	JARDIM FIGUEIRA	34500	13.786	4.155	14,40	240,96	40,89%	19,96%	7028,74	8	
	OSVALDO CRUZ	13800	4.117	1.481	4,38	183,05	43,74%	24,30%	2430,78	5213	
	URANIO	13800	3.237	1.275	3,48	145,55	34,78%	2,28%	228,07	291	
Douradina	CURTUMES	13800	4.251	2.381	4,87	203,85	48,71%	5,29%	529,17	716	3741
	JUNQUEIRA	13800	3.165	1.849	3,67	153,35	65,33%	4,06%	227,78	561	
	SANTA FELICIDADE	13800	538	126	0,55	23,12	19,95%	-24,86%	0,00	0	
	IVATE	13800	1.571	621	1,69	70,67	29,61%	6,11%	348,63	1204	
	GAZIN	13800	1.316	720	1,50	62,76	26,74%	-11,48%	0,00	0	
	LD EXP UMU/MHA	34500	5.707	4.797	7,46	124,76	39,78%	37,04%	6941,70	1629	
SERRA DOS DOURADOS	34500	7.620	4.127	8,67	145,02	33,00%	2,61%	685,42	346		

Fonte: O Autor (2019).

#### 4.1.6.3 Redução no carregamento de transformadores de alta tensão

Para a análise dos transformadores de alta tensão, foram analisadas as SE's mãe de cada uma das analisadas neste trabalho. O carregamento nominal de cada SE mãe foi considerado por meio da equivalência dos transformadores de alta tensão, em

paralelo, ou seja, foram somadas as potências dos equipamentos. O resultado é a capacidade máxima de cada SE.

Para todas as SE's mãe foi projetado o carregamento, em MVA, para o ano de 2021 considerando o maior valor medido nos últimos dois anos. Isso é considerado pois assim é previsto em norma pela Aneel para cálculo de indicadores de retorno de investimento por parte da Agência. A taxa de crescimento anual considerada é de 4%, sendo que este valor é estimado empiricamente.

Para a projeção calculada, através de um cálculo simples de proporção, estimou-se o número de consumidores para o ano de 2021 e qual seria a demanda percentual em relação à nominal das SE's. O produto entre a carga total de cada SE e o número de consumidores equivalentes estimados para 2021 dividido pela demanda estimada para 2021 resultou no número de consumidores que, atualmente, poderiam ser atendidos pelas SE's mãe.

Por fim, a melhoria de carregamento em transformadores de AT foi estimada através do produto entre o número de consumidores que poderiam ser atendidos pelas SE's mãe e o número de consumidores atendidos pela SE mãe dividido pelo número total de consumidores por alimentador. Os resultados estão expressos no quadro 19.

Quadro 19 – Exemplo de planilha utilizada para cálculo de melhoria de carga em transformadores de alta tensão.

	NOME ALIM	V NOM	SE MÃE	Num Cons	TOTAL CARGA SE [MVA]	TOTAL Num Cons SE MÃE	TOTAL Num Cons PROPRIA SE	CONSUM. EQUIV. CARREG TF	DEMANDA CARREG TF [MVA]	AJUSTE CONSUM. EQUIV. CARREG TF	[C] Redução no Carregamento em Transformadores Alta Tensão	TOTAL
Itamaraty	GERMANIA	13800	Rolândia	3191	17,01	#N/D	4540	41723	76,12	9322	6552	21280
	ATALAIA	13800	Rolândia	33	17,01	#N/D	4540	41723	76,12	9322	68	
	CARAMURU	13800	Rolândia	62	17,01	#N/D	4540	41723	76,12	9322	127	
	PANAMA	13800	Rolândia	13	17,01	#N/D	4540	41723	76,12	9322	27	
	PORTAL DO SOL	13800	Rolândia	1035	17,01	#N/D	4540	41723	76,12	9322	2125	
	SANTOS DUMONT	13800	Rolândia	4127	59,07	32378	27838	41723	76,12	32378	4127	
	ITAMARATY	34500	Rolândia	4540	59,07	32378	27838	41723	76,12	32378	4540	
	ESMERALDA	13800	Rolândia	3711	59,07	32378	27838	41723	76,12	32378	3711	
SANTO AMARO	34500	Londrina	3	54,06	50932	35174	84934	90,15	50932	3	5275	
BANDEIRANTES	13800	Astorga	1783	10,18	#N/D	5117	21978	51,47	4348	1515		
CASA BRANCA	13800	Astorga	678	10,18	#N/D	5117	21978	51,47	4348	576		
MARANHAO	13800	Astorga	3192	10,18	#N/D	5117	21978	51,47	4348	2712		
JAGUAPITA	34500	Astorga	258	61,72	26354	13639	21978	51,47	26354	258		
GUAIRACA	34500	Astorga	30	61,72	26354	13639	21978	51,47	26354	30		
MIRASELVA	34500	Florestópolis	183	23,18	22519	5303	37771	38,87	22519	183		
LAGOAO	13800	Apucarana	1956	18,70	#N/D	10889	76171	95,52	14910	2678		27748
MATADOURO	13800	Apucarana	1158	18,70	#N/D	10889	76171	95,52	14910	1586		
PIRAPO	13800	Apucarana	1909	18,70	#N/D	10889	76171	95,52	14910	2614		
CEREALISTA	13800	Apucarana	2290	18,70	#N/D	10889	76171	95,52	14910	3136		
CAPANEMA	13800	Apucarana	3315	18,70	#N/D	10889	76171	95,52	14910	4539		
CAMBIRA	34500	Apucarana	1728	68,73	54804	30069	76171	95,52	54804	1728		
JARDIM FIGUEIRA	34500	Apucarana	9	68,73	54804	30069	76171	95,52	54804	9		
OSVALDO CRUZ	13800	Cristo Rei	5989	26,45	16409	16409	27350	44,09	16409	5989		
URANIO	13800	Cristo Rei	2152	26,45	16409	16409	27350	44,09	16409	2152		
CURTUMES	13800	Cristo Rei	3318	26,45	16409	16409	27350	44,09	16409	3318	8390	
JUNQUEIRA	13800	Umuarama	2859	7,21	#N/D	6939	51862	71,60	5223	2152		
SANTA FELICIDADE	13800	Umuarama	321	7,21	#N/D	6939	51862	71,60	5223	242		
IVATE	13800	Umuarama	2685	7,21	#N/D	6939	51862	71,60	5223	2021		
GAZIN	13800	Umuarama	1329	7,21	#N/D	6939	51862	71,60	5223	1000		
LD EXP UMU/MHA	34500	Umuarama	1103	66,11	47881	22030	51862	71,60	47881	1103		
SERRA DOS DOURADO	34500	Tamoio	1872	36,42	32309	26251	48392	54,55	32309	1872		

Fonte: O Autor (2019).

#### 4.1.6.4 Melhoria da tensão em alimentadores de média tensão

De posse dos valores de tensão nominal, potência ativa e potência reativa de cada alimentador, foi estimada a potência aparente de cada um e em seguida a corrente elétrica respectiva.

O valor de tensão mínima medida no período de análises permitiu o prosseguimento do estudo. Foram determinadas as correntes (aqui chamadas de “corrigidas”) para a tensão nominal dos alimentadores e para a tensão mínima medida.

A subtração da corrente corrigida de medição pela corrente corrigida para tensão mínima incorreu em um valor chamado “corte de corrente”, que refere-se a quantos *ampères* seriam necessários para atingir-se a tensão de 1 pu nos alimentadores. Os valores estão apresentados no quadro 20.

Quadro 20 – Exemplo de planilha utilizada para cálculo do carregamento dos alimentadores de média tensão.

	NOME ALIM	V NOM	KW AL	KVAR AL	MVA ALIMENT	i ALIMENT	QT MAX	V MIN	V MIN (PU)	i Corrigida / Vmedida	i Corrigida / Vmínimo	Corte i atingir Vmínimo	Corte kW atingir Vmínimo
Itamaraty	GERMANIA	13800	3.397	1.436	3,69	154,30	1,74	13239	0,959	160,84	165,02	-4,19	-93,60
	ATALAIA	13800	2.930	1.717	3,40	142,08	0,87	13591	0,985	144,26	151,96	-7,69	-171,91
	CARAMURU	13800	1.354	745	1,55	64,66	0,85	13533	0,981	65,93	69,15	-3,22	-71,94
	PANAMA	13800	3.971	272	3,98	166,52	1,28	13590	0,985	169,10	178,10	-9,00	-201,21
	PORTAL DO SOL	13800	2.839	1.114	3,05	127,59	1,87	13495	0,978	130,48	136,46	-5,99	-133,79
	SANTOS DUMONT	13800	2.597	374	2,62	109,77	3,91	13450	0,975	112,63	117,40	-4,77	-106,71
	ITAMARATY	34500	7.600	2.493	8,00	133,85	1,56	33740	0,978	136,87	143,16	-6,29	-351,44
	ESMERALDA	13800	2.389	342	2,41	100,97	0,76	13364	0,968	104,26	107,99	-3,73	-83,25
	SANTO AMARO	34500	1.100	300	1,14	19,08	2,14	34500	1,000	19,08	20,41	-1,33	-74,11
Jaguapitã	BANDEIRANTES	13800	2.054	1.186	2,37	99,23	0,57	13377	0,969	102,37	106,13	-3,76	-84,04
	CASA BRANCA	13800	600	356	0,70	29,19	0,36	13551	0,982	29,72	31,22	-1,49	-33,36
	MARANHAO	13800	4.602	1.922	4,99	208,65	0,75	13310	0,964	216,33	223,16	-6,82	-152,50
	JAGUAPITA	34500	8.589	403	8,60	143,89	1,86	33047	0,958	150,22	153,90	-3,68	-205,42
	GUAIRACA	34500	7.639	3.542	8,42	140,91	1,38	32548	0,943	149,36	150,71	-1,35	-75,15
	MIRASELVA	34500	4.377	1.976	4,80	80,37	1,88	32934	0,955	84,19	85,95	-1,77	-98,65
Jardim Figueira	LAGOAO	13800	2.642	844	2,77	116,04	0,99	13447	0,974	119,08	124,10	-5,02	-112,20
	MATADOURO	13800	2.045	719	2,17	90,69	1	13353	0,968	93,73	97,00	-3,27	-73,05
	PIRAFO	13800	1.501	539	1,59	66,72	4,71	12847	0,931	71,67	71,36	0,31	6,95
	CEREALISTA	13800	3.658	889	3,76	157,49	1,57	13350	0,967	162,80	168,44	-5,64	-126,05
	CAPANEMA	13800	5.089	851	5,16	215,86	4,57	12924	0,937	230,50	230,87	-0,38	-8,38
	CAMBIRA	34500	5.325	1.349	5,49	91,93	9,2	32612	0,945	97,25	98,32	-1,07	-59,71
	JARDIM FIGUEIRA	34500	13.786	4.155	14,40	240,96	0,72	33785	0,979	246,06	257,71	-11,65	-650,99
	OSVALDO CRUZ	13800	4.117	1.481	4,38	183,05	8,25	13321	0,965	189,63	195,77	-6,14	-137,29
	URANIO	13800	3.237	1.275	3,48	145,55	1,79	13200	0,957	152,17	155,67	-3,50	-78,28
Douradina	CURTUMES	13800	4.251	2.381	4,87	203,85	0,79	13049	0,946	215,58	218,02	-2,44	-54,52
	JUNQUEIRA	13800	3.165	1.849	3,67	153,35	12,51	12964	0,939	163,24	164,02	-0,77	-17,25
	SANTA FELICIDADE	13800	538	126	0,55	23,12	0,86	13267	0,961	24,05	24,72	-0,68	-15,16
	IVATE	13800	1.571	621	1,69	70,67	3,12	12988	0,941	75,09	75,59	-0,49	-11,06
	GAZIN	13800	1.316	720	1,50	62,76	1,51	13234	0,959	65,44	67,12	-1,68	-37,52
	LD EXP UMU/MHA	34500	5.707	4.797	7,46	124,76	2,43	32515	0,942	132,38	133,44	-1,06	-59,04
	SERRA DOS DOURADOS	34500	7.620	4.127	8,67	145,02	0,62	31756	0,920	157,55	155,10	2,45	136,85

Fonte: O Autor (2019).

Ressalta-se que este valor pode ser de duas naturezas diferentes, a saber, positivo ou negativo. Um valor de corte negativo indica que teoricamente mais carga poderia ser acrescentada naquele alimentador, enquanto que, um valor positivo indica que o alimentador está operando em sobrecarga, cujo valor é dado pela subtração explicada anteriormente. Em outras palavras, valores negativos de corte de carga não influenciam no resultado das análises deste critério. Apenas valores positivos implicarão em resultados úteis.

O quadro 21 expõe os resultados obtidos para o presente critério.

Quadro 21 – Número de consumidores beneficiados pela melhoria no nível de tensão dos alimentadores.

	NOME ALIM	V NOM	kW/Cons	Num Cons	[D] Melhoria na Tensão em Alimentadores Média Tensão	TOTAL
Itamaraty	GERMANIA	13800	0,67	3191	0	0
	ATALAIA	13800	0,64	33	0	
	CARAMURU	13800	7,39	62	0	
	PANAMA	13800	2,49	13	0	
	PORTAL DO SOL	13800	1,58	1035	0	
	SANTOS DUMONT	13800	0,40	4127	0	
	ITAMARATY	34500	0,94	4540	0	
	ESMERALDA	13800	0,28	3711	0	
SANTO AMARO	34500	323,52	3	0		
Jaguapitã	BANDEIRANTES	13800	0,81	1783	0	0
	CASA BRANCA	13800	0,81	678	0	
	MARANHAO	13800	0,91	3192	0	
	JAGUAPITA	34500	23,17	258	0	
	GUAIRACA	34500	193,72	30	0	
	MIRASELVA	34500	12,35	183	0	
Jardim Figueira	LAGOAO	13800	0,69	1956	0	19
	MATADOURO	13800	1,27	1158	0	
	PIRAPO	13800	0,36	1909	19	
	CEREALISTA	13800	0,80	2290	0	
	CAPANEMA	13800	0,76	3315	0	
	CAMBIRA	34500	1,84	1728	0	
	JARDIM FIGUEIRA	34500	921,15	9	0	
	OSVALDO CRUZ	13800	0,47	5989	0	
	URANIO	13800	0,78	2152	0	
CURTUMES	13800	0,74	3318	0		
Douradina	JUNQUEIRA	13800	0,41	2859	0	69
	SANTA FELICIDADE	13800	0,46	321	0	
	IVATE	13800	0,29	2685	0	
	GAZIN	13800	0,69	1329	0	
	LD EXP UMU/MHA	34500	4,26	1103	0	
	SERRA DOS DOURADOS	34500	1,98	1872	69	

Fonte: O Autor (2019).

#### 4.1.6.5 Glosa por IAS

Para determinação do impacto causado pela energização das SE's 138 kV, foi analisada a melhoria do IAS destas para o horizonte 2021.

Glosa, segundo a Aneel, é o “*Montante de energia adquirida para cobrir as perdas elétricas ocorridas acima do patamar regulatório, obtido pela diferença entre a carga real e o requisito regulatório*”.

O IAS é calculado da seguinte forma, conforme Anexo IV da Resolução Aneel nº 493:

$$IAS = \frac{DM * (1 + TCA)^{10}}{PTI} * 100 \quad (19)$$

Onde:

DM – Demanda máxima medida nos últimos dois anos, em MVA.

TCA – Taxa de Crescimento de carga anual.

PTI – Potência máxima instalada.

O IAS é um valor que varia de 0 a 100%, onde 100% indica que todo o investimento na SE seria retornado à concessionária. Para as análises realizadas neste trabalho, todos os dados necessários foram retirados do banco de dados interno da Copel DIS.

A gênese da análise é semelhante àquela realizada no item 4.1.6.3, onde foram levantadas as SE's mãe, seus consumidores e valor de carregamento máximo para os últimos dois anos. Todos os valores foram considerados segundo informações do terceiro ciclo de revisão tarifária da Copel DIS.

Primeiramente foi determinado o número de consumidores para o qual o IAS de cada SE seria igual a 100%. Este valor pode ser maior que zero ou menor que zero. Valores positivos indicam que a instalação está com seu IAS menor que 100% enquanto que o contrário mostra que a SE está em sobrecarga, ou seja, IAS superior a 100%.

Em seguida, foi calculado qual seria o acréscimo de demanda necessário para atingir-se a unidade do IAS e para este valor, foi determinado o número de consumidores que deveriam ser acrescentados à SE para que o IAS atinja 100%.

O cálculo do número de consumidores beneficiados pelo ajuste do IAS foi feito multiplicando-se o número total de consumidores de cada alimentador pelo quociente entre a quantidade de consumidores iriam garantir o IAS unitário e o número total de consumidores de cada SE.

Os resultados estão explicitados no quadro 22.

Quadro 22 - Número de consumidores beneficiados pela melhoria do IAS.

Nova SE	NOME ALIM	V NOM	SE MÃE	Num Cons	TOTAL CARGA SE	TOTAL Num Cons SE MÃE	TOTAL Num Cons PROPRIA SE	CONSUM. EQUIV. IAS	DEMAND A IAS	AJUSTE CONSUM. EQUIV. IAS	[E] Glosa por IAS	TOTAL
Itamaraty	GERMANIA	13800	Rolândia	3191	17,01	#N/D	4540	1454,6	19,07	1297	912	2308
	ATALAIA	13800	Rolândia	33	17,01	#N/D	4540	1454,6	19,07	1297	9	
	CARAMURU	13800	Rolândia	62	17,01	#N/D	4540	1454,6	19,07	1297	18	
	PANAMA	13800	Rolândia	13	17,01	#N/D	4540	1454,6	19,07	1297	4	
	PORTAL DO SOL	13800	Rolândia	1035	17,01	#N/D	4540	1454,6	19,07	1297	296	
	SANTOS DUMONT	13800	Rolândia	4127	59,07	32378	27838	2917,2	61,60	2797	357	
	ITAMARATY	34500	Rolândia	4540	59,07	32378	27838	2917,2	61,60	2797	392	
	ESMERALDA	13800	Rolândia	3711	59,07	32378	27838	2917,2	61,60	2797	321	
SANTO AMARO	34500	Londrina	3	54,06	50932	35174	7804,1	64,81	6510	0	1274	
Jaguapitã	BANDEIRANTES	13800	Astorga	1783	10,18	#N/D	5117	1633,0	18,30	909		317
	CASA BRANCA	13800	Astorga	678	10,18	#N/D	5117	1633,0	18,30	909		120
	MARANHAO	13800	Astorga	3192	10,18	#N/D	5117	1633,0	18,30	909		567
	JAGUAPITA	34500	Astorga	258	61,72	26354	13639	13824,6	42,30	20172		197
	GUAIRACA	34500	Astorga	30	61,72	26354	13639	13824,6	42,30	20172		23
	MIRASELVA	34500	Florestópolis	183	23,18	22519	5303	10515,2	40,09	6079	49	4377
Jardim Figueira	LAGOAO	13800	Apucarana	1956	18,70	#N/D	10889	2891,6	18,00	3004	540	
	MATADOURO	13800	Apucarana	1158	18,70	#N/D	10889	2891,6	18,00	3004	319	
	PIRAPO	13800	Apucarana	1909	18,70	#N/D	10889	2891,6	18,00	3004	527	
	CEREALISTA	13800	Apucarana	2290	18,70	#N/D	10889	2891,6	18,00	3004	632	
	CAPANEMA	13800	Apucarana	3315	18,70	#N/D	10889	2891,6	18,00	3004	914	
	CAMBIRA	34500	Apucarana	1728	68,73	54804	30069	23623,8	82,10	19775	624	
	JARDIM FIGUEIRA	34500	Apucarana	9	68,73	54804	30069	23623,8	82,10	19775	3	
	OSVALDO CRUZ	13800	Cristo Rei	5989	26,45	16409	16409	1377,5	31,09	1172	428	
	URANIO	13800	Cristo Rei	2152	26,45	16409	16409	1377,5	31,09	1172	154	
	CURTUMES	13800	Cristo Rei	3318	26,45	16409	16409	1377,5	31,09	1172	237	3888
Douradina	JUNQUEIRA	13800	Umuarama	2859	7,21	#N/D	6939	2973,9	7,07	3033	1250	
	SANTA FELICIDADE	13800	Umuarama	321	7,21	#N/D	6939	2973,9	7,07	3033	140	
	IVATE	13800	Umuarama	2685	7,21	#N/D	6939	2973,9	7,07	3033	1174	
	GAZIN	13800	Umuarama	1329	7,21	#N/D	6939	2973,9	7,07	3033	581	
	LD EXP UMU/MHA	34500	Umuarama	1103	66,11	47881	22030	3926,3	61,83	4198	97	
	SERRA DOS DOURADOS	34500	Tamoio	1872	36,42	32309	26251	13114,4	42,82	11154	646	

Fonte: O Autor (2019).

#### 4.1.6.6 Perdas Técnicas

A partir das informações obtidas acerca do carregamento dos alimentadores analisados, foi possível estimar a redução de perdas na distribuição, em função do número de consumidores beneficiados.

Foi estimado, em teoria, qual seria a potência ativa nominal de cada consumidor, considerando uma distribuição uniforme de carga ao longo dos alimentadores.

A determinação das perdas técnicas foi feita a partir da estimação da resistência de perdas dos alimentadores. Isso foi crivado a partir dos dados de perdas medidos em kW pela Copel DIS, a partir do qual, conhecendo o valor nominal de tensão dos alimentadores, foi calculado o valor da corrente equivalente de perdas, que permitiu a determinação da resistência de perdas.

As perdas foram estimadas a partir da equação (20), e este valor foi dividido pelo fator de perdas, o qual está estimado no quadro 23. Então, o resultado deste

cálculo permitiu conhecer o número de consumidores beneficiados pela redução de perdas técnicas nos alimentadores de média tensão.

$$Pr = Rr * Ir^2 \quad (20)$$

Onde:

Pr – Perdas ôhmicas, em kW;

Rr – Resistência equivalente de perdas, em  $\Omega$ ;

Ir – Corrente equivalente de perdas, em A.

Os resultados estão expostos no quadro 23.

Quadro 23 – Número de consumidores beneficiados pela redução de perdas técnicas.

Nova SE	NOME ALIM	V NOM	Fator de perdas	Corrente de perdas	Resistência de perdas	[F] Redução das Perdas Técnicas
Itamaraty	GERMANIA	13800	0,19	1,67	14,283	70
	ATALAIA	13800	0,23	0,84	28,566	52
	CARAMURU	13800	0,27	0,08	285,66	10
	PANAMA	13800	0,3	0,13	190,44	25
	PORTAL DO SOL	13800	0,13	0,42	57,132	20
	SANTOS DUMONT	13800	0,11	108,65	0,83673952	29
	ITAMARATY	34500	0,03	1,17	51,0107143	150
	ESMERALDA	13800	0,36	0,84	28,566	65
SANTO AMARO	SANTO AMARO	34500	0,34	0,13	446,34375	16
	BANDEIRANTES	13800	0,53	0,67	35,7075	23
Jaguapitã	CASA BRANCA	13800	0,16	0,08	285,66	3
	MARANHAO	13800	0,17	1,76	13,6028571	73
	JAGUAPITA	34500	0,23	3,36	17,7649254	290
	GUAIRACA	34500	0,17	3,36	17,7649254	290
	MIRASELVA	34500	0,52	1,86	32,1689189	278
Jd Figueira	LAGOAO	13800	0,5	0,59	40,8085714	35
	MATADOURO	13800	0,48	0,88	27,2057143	29
	PIRAPO	13800	0,58	3,05	7,82630137	203
	CEREALISTA	13800	0,43	1,21	19,7006897	75
	CAPANEMA	13800	0,87	5,15	4,64487805	329
	CAMBIRA	34500	0,47	2,98	20,0603933	334
	JARDIM FIGUEIRA	34500	0,46	2,11	28,3392857	236
	OSVALDO CRUZ	13800	0,64	2,26	10,58	83
	URANIO	13800	0,83	2,59	9,21483871	150
CURTUMES	13800	0,51	2,72	8,78953846	132	
Douradina	JUNQUEIRA	13800	0,53	2,22	10,7796226	209
	SANTA FELICIDADE	13800	0,16	0,21	114,264	63
	IVATE	13800	0,17	3,31	7,23189873	26
	GAZIN	13800	0,23	0,84	28,566	26
	LD EXP UMU/MHA	34500	0,17	6,43	9,29882813	406
SERRA DOS DOURADOS	34500	0,52	12,57	4,75466045	1942	

Fonte: O Autor (2019).

#### 4.1.7 Resultados do Estudo de Caso

Este item apresenta o resultado da priorização do conjunto de obras analisado.

O quadro 24 apresenta o número de consumidores beneficiados pela energização de todas as SE's 138 kV, por critério analisado.

Quadro 24 – Total de Consumidores Beneficiados para cada critério analisado.

Subestação	[A] Benefício pela Melhoria do DEC	[B] Redução no Carregamento em Alimentadores Média Tensão	[C] Redução no Carregamento em Transformadores Alta Tensão	[D] Melhoria na Tensão em Alimentadores Média Tensão	[E] Glosa por IAS	[F] Redução das Perdas Técnicas
	Consumidores	Consumidores	Consumidores	Consumidores	Consumidores	Consumidores
Douradina	5437	3741	8390	69	3888	2807
Jaguapitã	2863	2487	5275	0	1274	1166
Jardim Figueira	3130	9348	27748	19	4377	1605
Itamaraty	1629	1602	21280	0	2308	442

Fonte: O Autor (2019).

A multiplicação matricial dos dados apresentados no quadro 24 pelo vetor de Eigen do problema (quadro 11) permite que se chegue ao resultado final da priorização. Este cálculo gera uma pontuação normalizada, a qual foi ordenada em ordem crescente, sendo que a SE com maior pontuação é a mais importante do conjunto para melhoria dos indicadores analisados.

O resultado final da priorização está apresentado no quadro 25.

Quadro 25 – Ranking das Obras Prioritárias.

Nome Subestação	Município	Tensão	Região	<b>PONTUAÇÃO</b>
Jardim Figueira	Apucarana	138	LNA	59.436
Itamaraty	Itamaraty	138	LNA	35.061
Douradina	Douradina	138	MGA	30.989
Jaguapitã	Jaguapitã	138	LNA	17.755

Fonte: O Autor (2019).

A partir deste estudo de caso, será estudada a implementação da metodologia BI para a reavaliação do mesmo.

## 4.2 Implementação da metodologia BI à priorização de obras do SDAT

Nesta seção será apresentada a aplicação do método AHP para priorização de obras de SE's AT em um sistema de BI.

### 4.2.1 Aplicação da metodologia

O software escolhido e a justificativa da escolha estão apresentados 3.2.4.1 deste trabalho. A base de dados utilizada na aplicação do BI é a mesma do estudo de caso apresentado no item 4.1 do presente trabalho. Esta não sofreu alteração para que as premissas apresentadas no item citado possam ser mantidas para a análise.

Todos os dados foram inseridos no Power BI através de planilhas do Excel e tratados dentro do software por meio do Power Query Editor, que é uma ferramenta complementar, substituta do Excel. Em outras palavras, uma vez inseridos os dados no Power BI, o tratamento destes foi realizado internamente ao software, por meio do editor supracitado.

Ressalta-se que a aplicação do Método da Análise Hierárquica, em primeira análise, não sofreu alterações se comparada ao estudo de caso realizado no item 4.1. Todas as premissas de trabalho, bases de dados, critérios de análise e seus pesos, e procedimentos de cálculo foram mantidos. Resumidamente, o estudo de caso realizado no item explicitado foi integralmente aplicado dentro do software Power BI.

## 4.3 Resultados alcançados pela metodologia BI para priorização de obras do SDAT

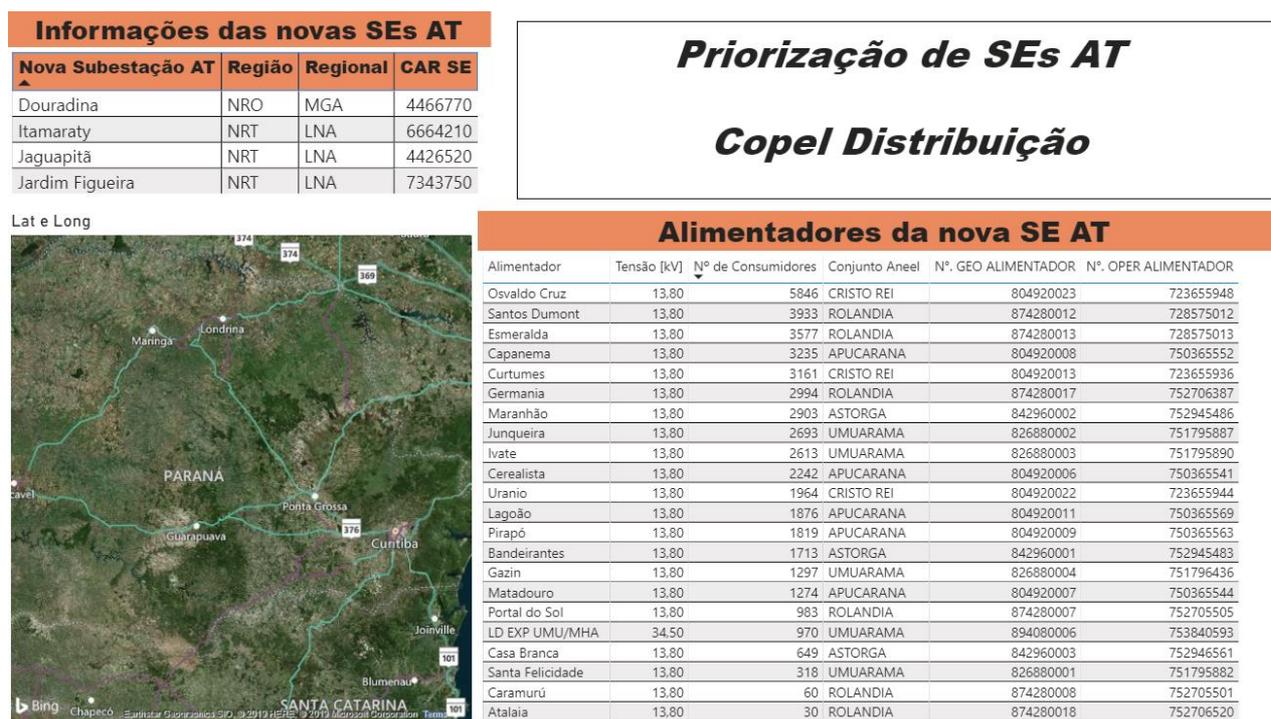
Nesta seção serão expostos os resultados alcançados para cada critério analisado através da aplicação do Power BI ao conjunto de obras apresentado na seção 4.1.1 do presente trabalho. Será exposto também o resultado final da análise, ou seja, o conjunto de obras priorizado.

De maneira geral, foram selecionados os dados mais relevantes dentro do contexto de cada critério de análise e estes foram trabalhados dentro dos *dashboards*. Ao todo foram elaborados seis *dashboards*, um para cada critério, com o intuito de promover uma visualização mais palpável dos dados e resultados, e promover interpretações mais dinâmicas por parte do tomador de decisões, que permitam ampará-lo no processo como um todo.

Finalmente, foi elaborado o *dashboard*-resumo contendo a síntese das principais informações necessárias para a priorização das obras em questão conjuntamente aos resultados das análises.

A figura 14 apresenta a página introdutória do procedimento, que apresenta as informações básicas acerca das SE's em processo de priorização e sua localização georeferenciada.

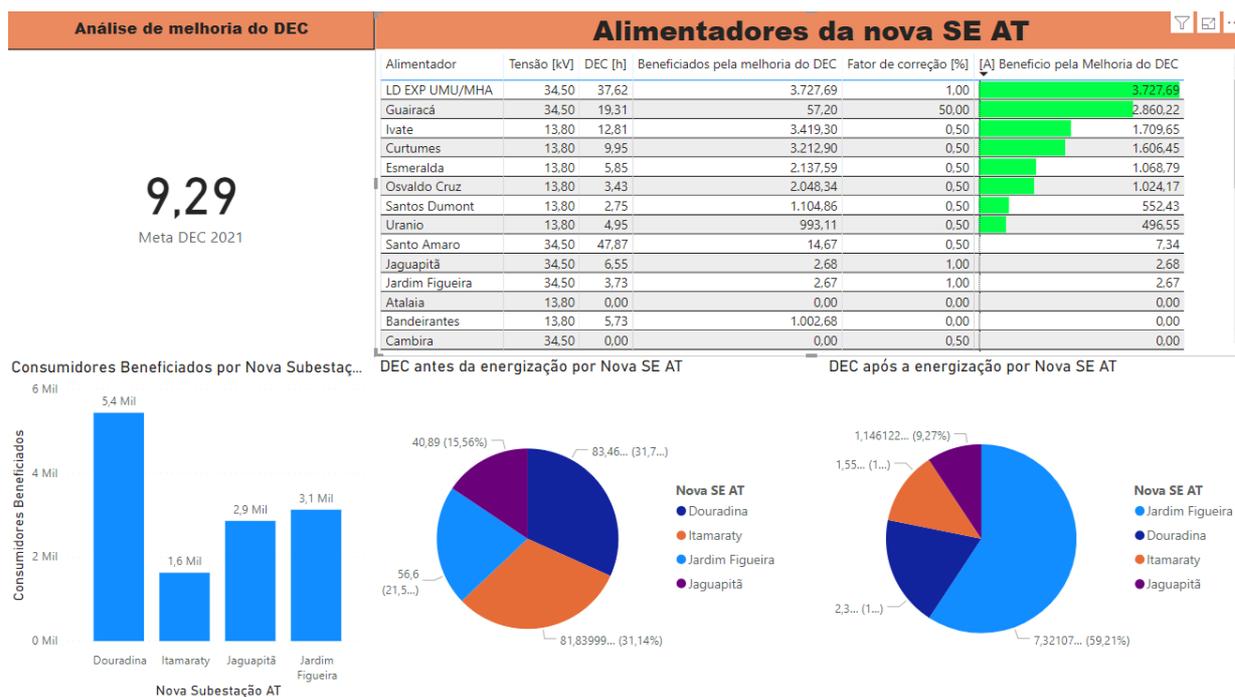
Figura 14 – Página inicial do processo no Power BI.



Fonte: O Autor (2019).

#### 4.3.1 Benefício pela melhoria do DEC

A figura 15 apresenta o visual elaborado para análise do critério referente ao benefício pela melhoria do DEC para as SE's analisadas.

Figura 15 – *Dashboard* referente ao critério A.

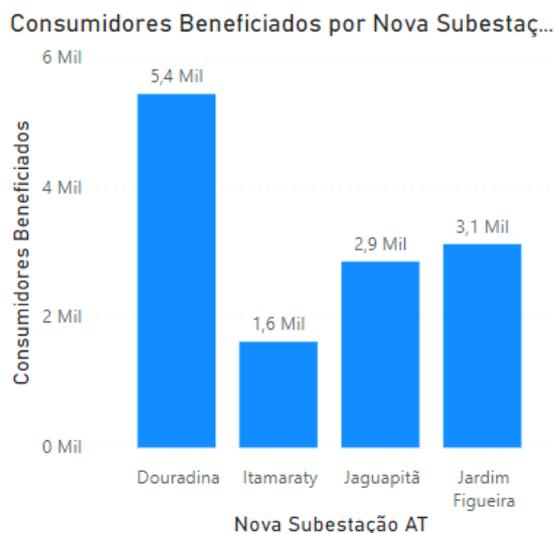
Fonte: O Autor (2019).

O *dashboard* da figura 15 foi concebido de modo que o impacto da melhoria no DEC das SE's possa ser facilmente visualizado. Para isso, foram adicionados os gráficos do tipo “pizza” que expõe o DEC das SE's antes e após a energização das mesmas.

Outra informação relevante acrescentada ao ambiente é a meta DEC estabelecida pela Aneel. Ressalta-se que todas as informações específicas de cada alimentador das SE's foram exibidas em forma de tabela, por ser o meio mais adequado para tal necessidade.

Por fim, foi elaborado um gráfico em barras verticais para exposição do resultado da priorização mediante o critério em questão, como mostrado na figura 16.

Figura 16 – Resultado das análises para o critério A.

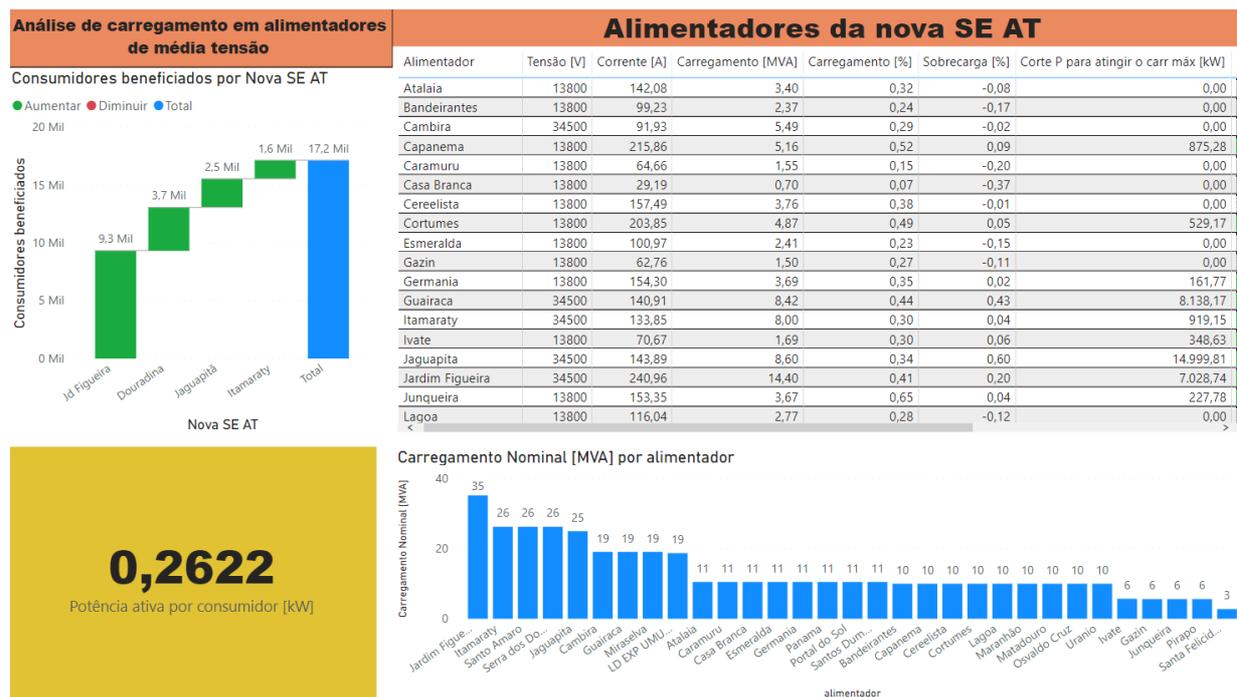


Fonte: O Autor (2019).

Os visuais gerados são interativos e interligados entre si. Um clique no nome do alimentador, por exemplo, causa um realce em todas as informações pertinentes a ele dentro do *dashboard* (SE a qual pertence, DEC, etc.). Da mesma forma, selecionando uma SE qualquer, todas as informações concernentes a ela serão enfatizadas, a saber, DEC antes e depois da energização, alimentadores e consumidores beneficiados pelo critério.

#### 4.3.2 Redução no Carregamento em Alimentadores de Média Tensão

A figura 17 apresenta o visual elaborado para análise do critério referente ao benefício pela melhoria do DEC para as SE's analisadas.

Figura 17 – *Dashboard* referente ao critério B.

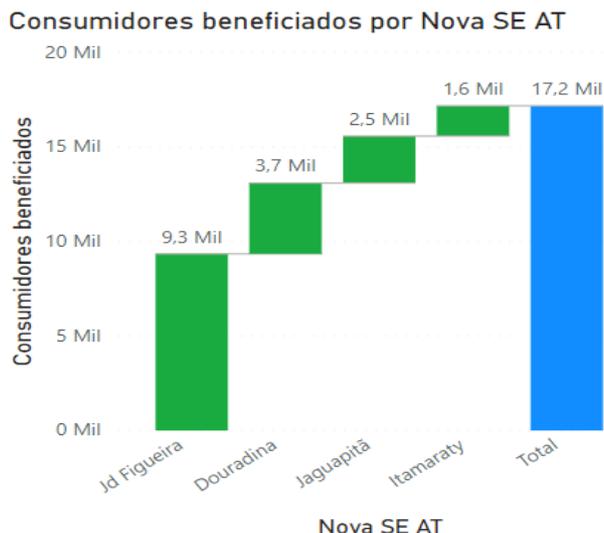
Fonte: O Autor (2019).

Sendo o carregamento dos alimentadores de média tensão o cerne da análise do critério em questão, o objetivo do visual criado é proporcionar uma fácil e intuitiva visualização de dados referentes à demanda por alimentador das SE's analisadas.

Novamente tem-se um painel interativo, onde selecionando com o cursor do *mouse* um alimentador, são explicitadas as informações referentes ao mesmo, como carregamentos medidos, percentuais e nominais, estimação da demanda por consumidor atendido (área em amarelo na figura 17) e os dados auxiliares necessários para a análise. Semelhantemente ao *dashboard* da figura 15 apresentada no item 4.3.1, clicando na SE tem-se todas as informações de seus alimentadores de média tensão.

A demonstração dos resultados finais da análise do critério B foram concebidos através de um gráfico de cascata, que permite a averiguação do número de consumidores beneficiados pela redução do carregamento em alimentadores de média tensão (13,8 kV e 34,5 kV) para cada uma das quatro SE's, além do total de consumidores beneficiados para o conjunto de empreendimentos. A figura 18 apresenta o resultado da análise do critério em questão.

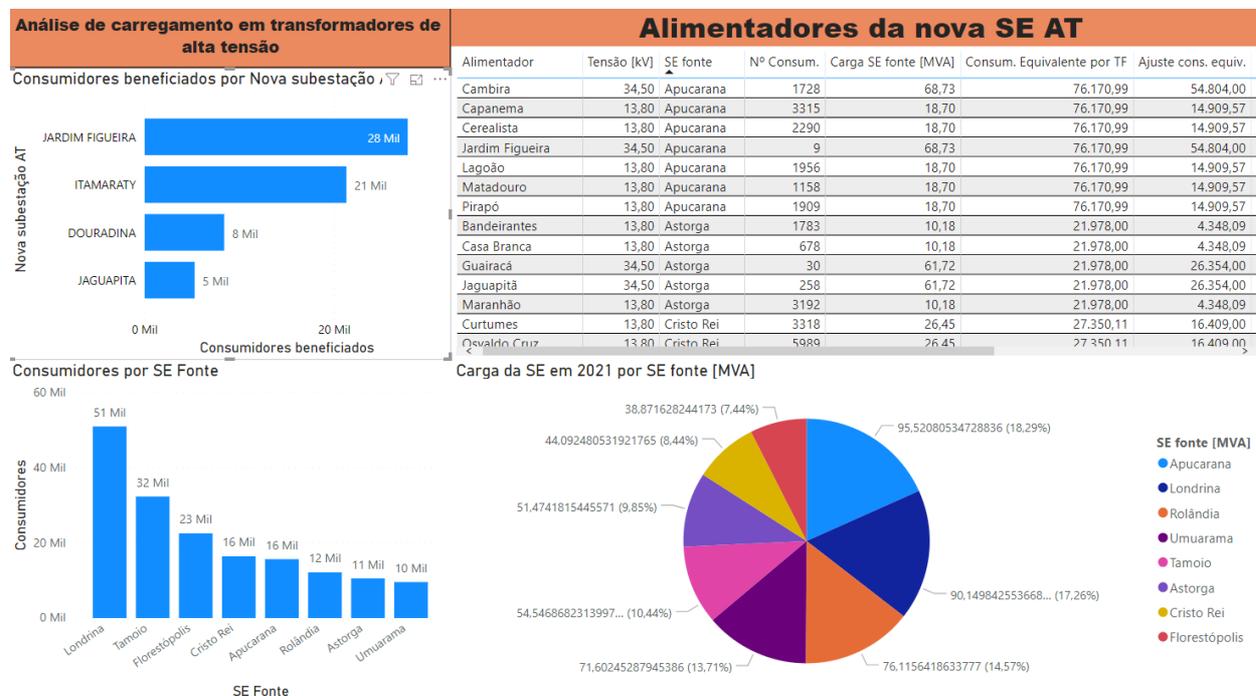
Figura 18 – Resultado das análises para o critério B.



Fonte: O Autor (2019).

#### 4.3.3 Redução no carregamento de transformadores de alta tensão

A figura 19 apresenta o visual elaborado para análise do critério referente à redução no carregamento de transformadores de alta tensão para as SE's analisadas.

Figura 19 – *Dashboard* referente ao critério C.

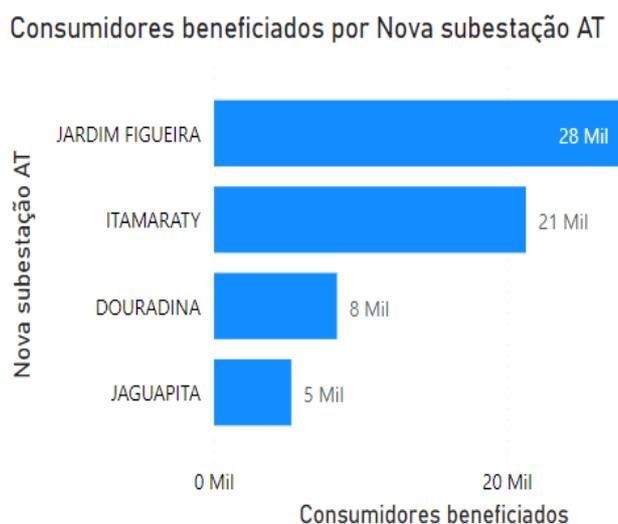
Fonte: O Autor (2019).

A análise do carregamento de transformadores de alta tensão faz menção às SE's fonte de cada uma das quatro SE's 34,5 kV analisadas. Por isso, é essencial que o visual referente ao critério C explicita dados referentes às respectivas SE's AT.

Mostrado na figura 19, o *dashboard* trás consigo todas as informações acerca das SE's AT fonte por alimentador do conjunto de obras a ser priorizado. Ao selecionar um empreendimento, são exibidos todos os alimentadores referentes a ele, demanda da SE em MVA, uma aproximação do número de consumidores equivalentes por transformador de alta tensão e as SE's fontes respectivas. Selecionando o alimentador, são mostradas as informações acerca da SE fonte a qual ele faz parte, como número de consumidores da SE fonte e seu carregamento projetado para 2021, em MVA.

O resultado desta etapa da priorização foi exposto por meio de um gráfico de barras horizontais, conforme figura 20.

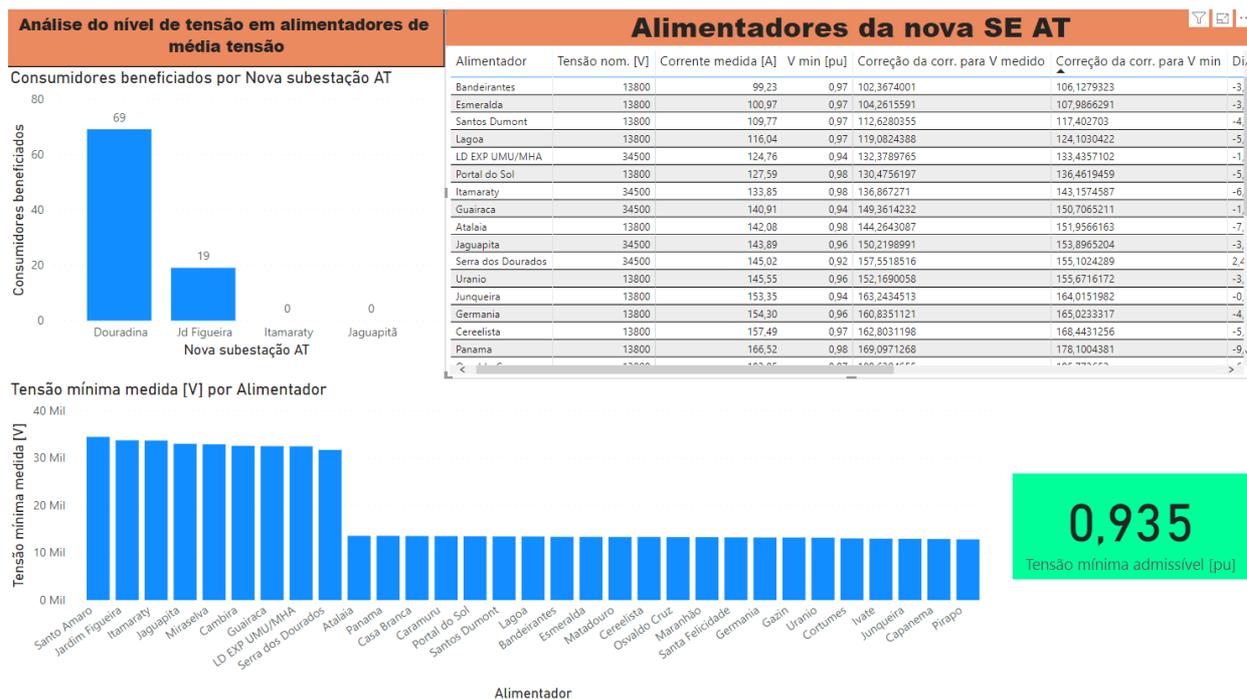
Figura 20 – Resultado das análises para o critério C.



Fonte: O Autor (2019).

#### 4.3.4 Melhoria do nível de tensão em alimentadores de média tensão

A figura 21 apresenta o visual elaborado para análise do critério referente à melhoria do nível de tensão em alimentadores de média tensão para as SE's analisadas.

Figura 21 – *Dashboard* referente ao critério D.

Fonte: O Autor (2019).

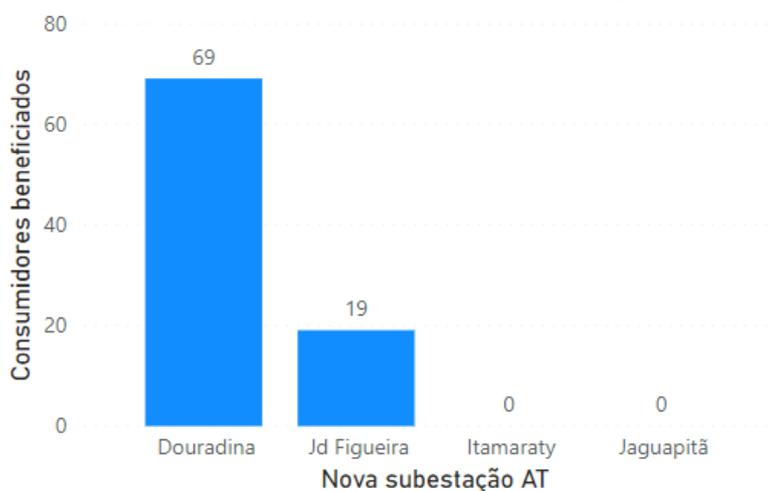
Para análise deste critério, os dados medulares fazem menção à tensão medida nos alimentadores das SE's analisadas no processo, bem como à qualidade do mesmo. Portanto, o desígnio deste *dashboard* é apresentar as informações acerca dos níveis de tensão nos alimentadores das SE's MT.

No visual apresentado na figura 21, além do resultado das análises para o presente critério, foram apresentados os dados, por alimentador, acerca dos níveis de tensão medidos e dos procedimentos de correção dos mesmos para que atinjam o nível desejado (1 pu). Foi exposto o nível mínimo de tensão admissível (0,935 pu, em verde na figura) e a tensão mínima medida em cada um dos alimentadores de média tensão analisados.

Através de um gráfico de barras verticais foi expresso o resultado das análises para o critério D, conforme a figura 22.

Figura 22 – Resultado das análises para o critério D.

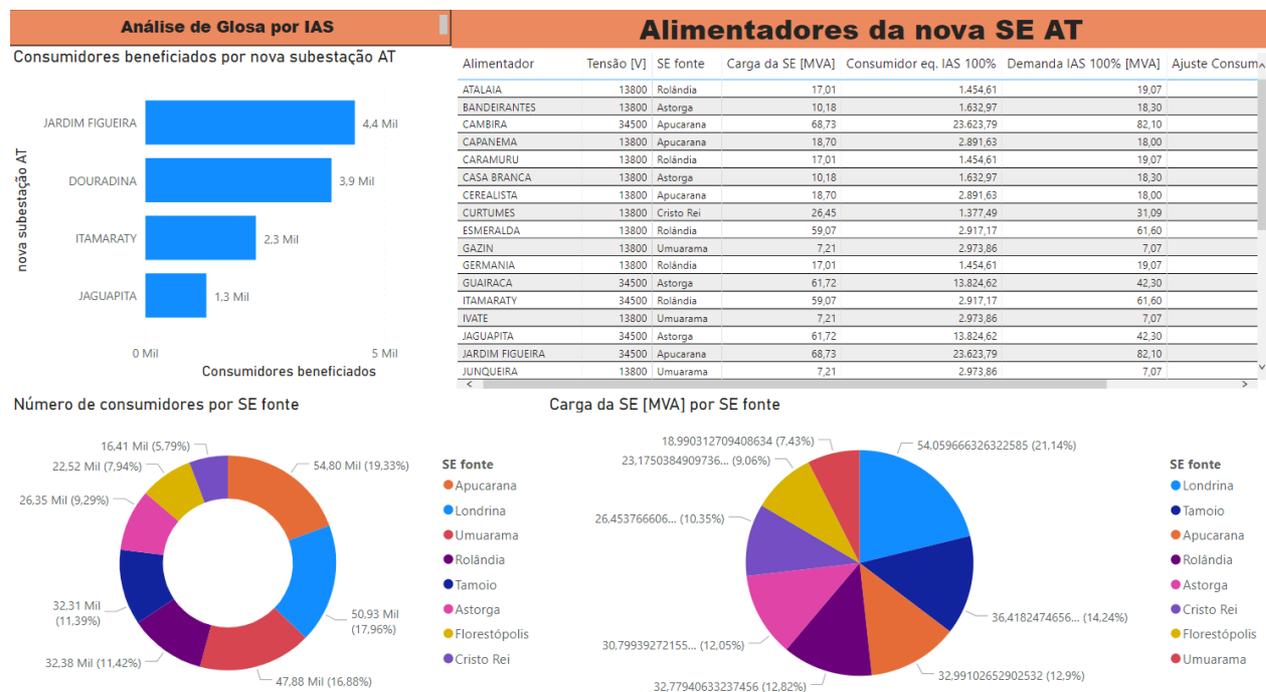
## Consumidores beneficiados por Nova subestação AT



Fonte: O Autor (2019).

## 4.3.5 Glosa por IAS

A figura 23 apresenta o visual elaborado para análise do critério referente à Glosa por IAS para as SE's analisadas.

Figura 23 – *Dashboard* referente ao critério E.

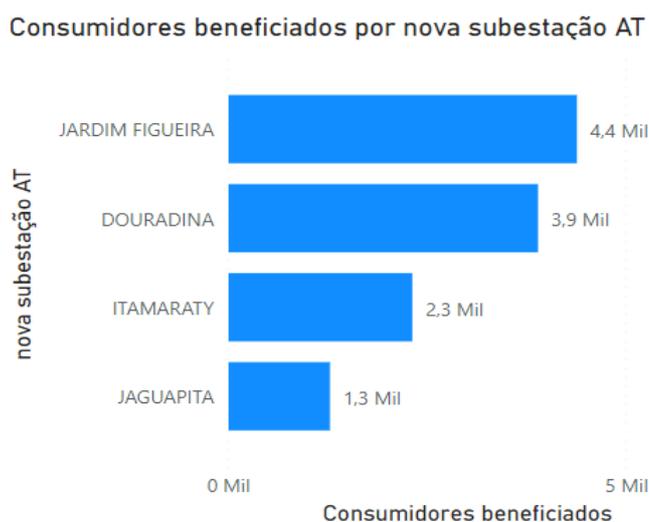
Fonte: O Autor (2019).

O objetivo deste critério é avaliar e melhorar o IAS das SE's em processo de priorização. Por isso, é importante que sejam destacados os dados referentes à carregamento delas para o ano adotado como referência – 2021.

O *dashboard* da figura 23 explicita as informações acerca do número de consumidores das SE's fonte bem como a projeção de carregamento de cada uma para 2021, de modo que com estes valores possa ser estimado o benefício pela melhoria do Índice de Aproveitamento de Subestações, de modo que o valor da Glosa seja idealmente zero. Salienta-se que clicando na SE desejada para análise, são realçados automaticamente as informações pertinentes a ela nos demais gráficos e na tabela, mostrando todos os seus alimentadores e seus dados relacionados.

O resultado para a análise do critério E foi exposto por meio de um gráfico de barras horizontais, conforme mostrado na figura 24, abaixo.

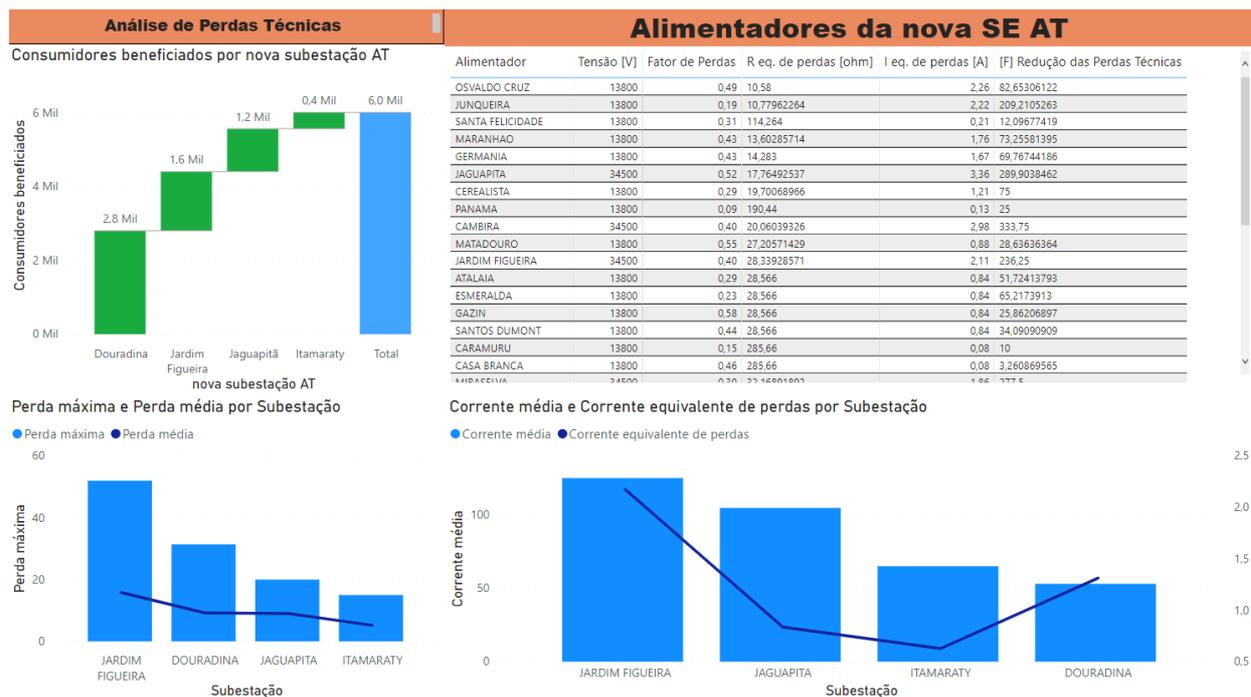
Figura 24 – Resultado das análises para o critério E.



Fonte: O Autor (2019).

#### 4.3.6 Redução de Perdas Técnicas

A figura 25 apresenta o *dashboard* elaborado para análise do critério referente à redução de perdas técnicas para as SE's analisadas.

Figura 25 – *Dashboard* referente ao critério F.

Fonte: O Autor (2019).

Uma vez que a base de cálculo do critério “E” refere-se à estimativa da corrente elétrica equivalente de perdas de modo que se possa antever as perdas em kW, o visual apresentado na figura 25 prima pela exibição de dados referentes ao cálculo do circuito equivalente de perdas para cada SE.

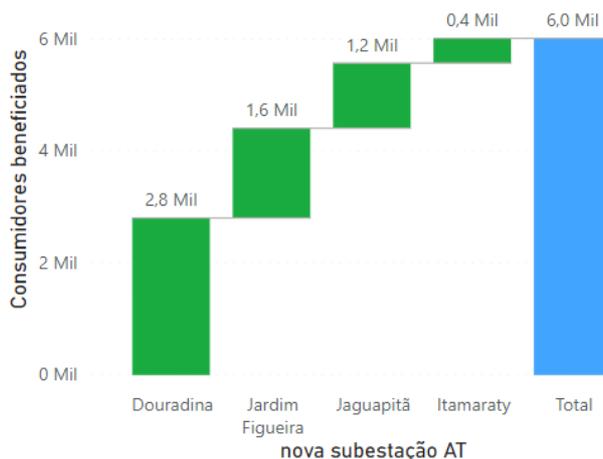
Munido das informações acerca de tensão do alimentador e sua corrente equivalente de perdas, é possível calcular aproximadamente qual a potência ativa de perdas, conforme a igualdade (20) apresentada no item 4.1.6.6 do presente trabalho. Em função disso, o *dashboard* apresentada evidencia gráficos mostrando a estimativa das perdas por nova SE AT bem como suas respectivas correntes equivalentes.

Da mesma forma que os visuais concebidos para os demais critérios, aqui tem-se a questão da interatividade. Clicando com o cursor do mouse na SE desejada, releva-se automaticamente todas as informações acerca de perdas máxima e média por alimentador além das correntes média e equivalente de perdas por condutor de média tensão.

A figura 26 apresenta o resultado das análises para o critério F.

Figura 26 – Resultado das análises para o critério F.

## Consumidores beneficiados por nova subestação AT

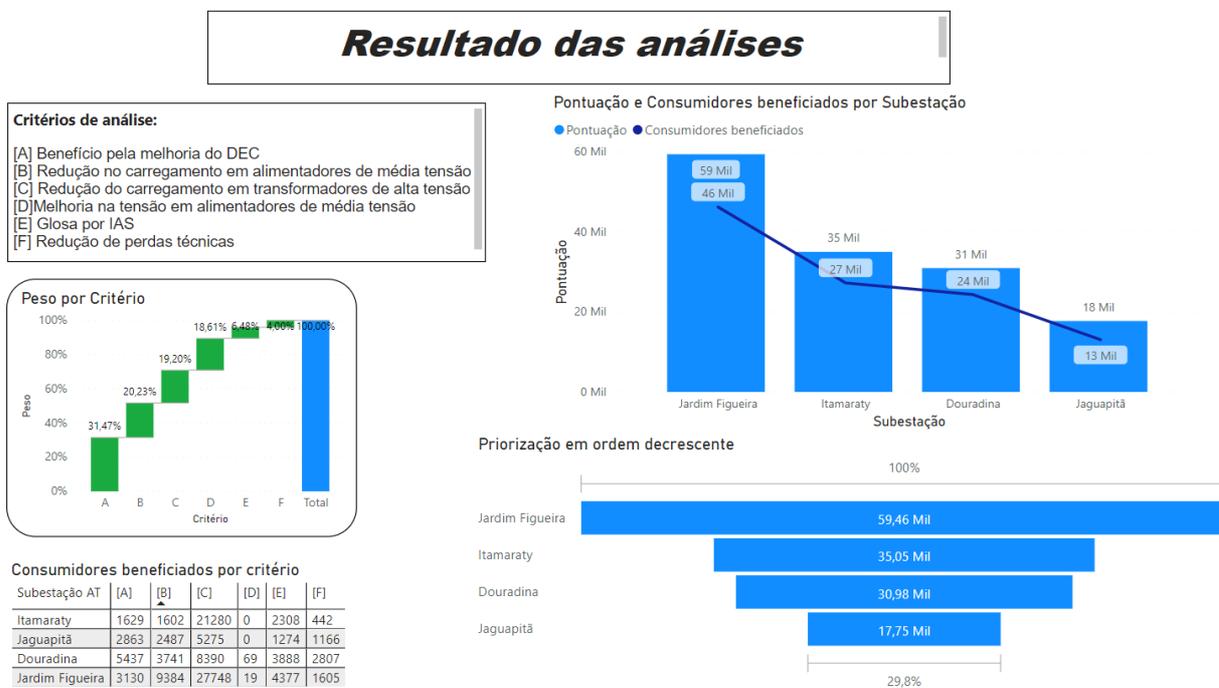


Fonte: O Autor (2019).

#### 4.3.7 Dashboard final do processo

O visual contendo os resultados do estudo de caso realizado a partir da abordagem BI apresentada está exposto na figura 27.

Figura 27 – Resultado da priorização das SE's 138 kV.



Fonte: O Autor (2019).

O último visual apresentado no desenvolvimento da metodologia BI para a priorização do conjunto de obras apresentado explicita o resultado final do processo, ou seja, trás consigo o conjunto de SE's AT já priorizado, por meio de gráficos.

Nele são apresentados cada um dos seis critérios levados em consideração na análise bem como seus respectivos pesos aplicados ao método AHP, por meio de um gráfico do tipo “colunas empilhadas”, de modo que seja perceptível a diferenciação dos pesos para cada item.

Outra informação importante que foi ressaltada, em forma de tabela simples, é o número de consumidores beneficiados por critério para cada uma das quatro SE's analisadas no presente trabalho. É fundamental a exposição destas informações, visto que todo o processo de priorização é norteado pelo benefício das obras para os consumidores, sendo através destes, normalizado.

Por meio de um gráfico de barras verticais em conjunto com uma curva simples, foi explicitado o resultado final da análise, ou seja, a prioridade de cada obra, uma em relação à outra. As barras indicam a pontuação de cada SE dentro do método AHP enquanto que a curva indica o número de consumidores beneficiados por empreendimento a ser energizado.

Por fim, para ratificar o gráfico explicado no parágrafo anterior, foi apresentado através de um gráfico de barras tipo “funil” o ranking de priorização encontrado para o conjunto de obras, sendo ele mostrado na figura 28. Salienta-se que os valores de cada empreendimento referem-se à sua pontuação proveniente da análise hierárquica.

Figura 28 – Ranking das obras prioritárias.



Fonte: O Autor (2019).

Uma vez que a metodologia foi aplicada ao conceito de BI, o objetivo agora é propor novos critérios de análise, que venham a complementar e/ou substituir os já existentes de modo que, através do BI, possa-se reavaliar o estudo de caso, fazendo as devidas alterações na metodologia AHP, a exemplo do rearranjo dos pesos de cada critério.

#### **4.4 Reavaliação dos critérios de análise**

A presente etapa do trabalho tem por objetivo propor dois novos critérios de análise ao processo de priorização de obras utilizado pela Copel DIS, a saber:

- O critério proposto no item 4.4.1 substituirá o atual critério “C” da análise (Melhoria do carregamento de transformadores de alta tensão).
- O critério proposto no item 4.4.2 complementar os seis critérios já utilizados, incluindo aquele concebido no item 4.4.1.

Posteriormente, o estudo de caso será reavaliado mediante uso da metodologia com abordagem BI concebida e explicitada no item 4.2 desta monografia.

##### **4.4.1 Eliminação de sobrecarga na SE fonte**

O novo critério desenvolvido refere-se à ocorrência de sobrecarga nas SE's fonte daquelas analisadas no processo de priorização, dentro de um horizonte de 10 anos.

De maneira geral, este critério tem por objetivo determinar o número de consumidores que, em teoria, deveriam ser remanejados para as novas SE's AT de modo que suas atuais SE's fonte não apresentem projeção de sobrecarga dentro de um horizonte de 10 anos. Na prática, a ocorrência de sobrecarga implicaria no corte de consumidores.

As projeções de crescimento de carga foram estimadas por meio da análise do Mercado por Área de Distribuição (MAD) da Copel DIS, considerando um crescimento médio de carga por alimentador da SE AT de 3,5% ao ano. A análise tem início no ano de 2019 e se estende até 2029.

Para a concepção deste novo critério de análise, foram crivadas algumas premissas, a saber:

- a) A nova SE AT será energizada no ano em que está sendo priorizada.
- b) São avaliados os alimentadores das SE's fonte, exclusivamente.
- c) O fator de potência utilizado para as conversões necessárias é de 0,92.
- d) O número de consumidores da SE AT foi estimado por meio da soma do número de consumidores de cada alimentador a ela pertencente.
- e) O carregamento projetado das SE's AT foi determinado pela soma individual dos carregamentos de cada alimentador a ela pertencente.
- f) A pontuação de cada empreendimento é dada pelo número de consumidores que deixariam de ser atendidos em caso de sobrecarga na SE fonte, 10 anos após o ano corrente.
- g) Caso não ocorra sobrecarga na SE fonte, a pontuação da nova SE AT será zero.

Para determinar o número de consumidores beneficiados pelo critério de sobrecarga, foi utilizado o conceito de consumidor equivalente.

Na prática, o crescimento de carga se deve pois há aumento de demanda por parte dos consumidores das SE's, havendo pouco crescimento do número de consumidores em si. Em razão disso, tornou-se mais viável utilizar o conceito de consumidor equivalente.

Conhecendo o carregamento atual de cada SE AT obtido através da ferramenta MAD, em kW, e o número de consumidores por ela atendido, foi possível determinar a demanda de energia por consumidor, conforme a equação (21), abaixo, e mostrado no quadro 27.

$$Demanda\ por\ consumidor\ [kW/Cons] = \frac{Carregamento\ atual\ [kW]}{N^{\circ}\ de\ consumidores\ atual} \quad (21)$$

O resultado da equação (21) permitiu o cálculo do número máximo de consumidores que cada empreendimento poderia atender, o qual é feita através da equação (22), e mostrado no quadro 27.

$$Máximo\ de\ consumidores = \frac{Demanda\ por\ consumidor\ [kW/Cons]}{Capacidade\ da\ SE\ [kW]} \quad (22)$$

O quadro 26 apresenta as informações básicas sobre as SE's fonte estudadas.

Quadro 26 – Informações das SE's fonte.

SE 34,5 kV	SE Fonte	Cap. Instalada da SE fonte [MVA]	Cap. Instalada da SE fonte [kW]	Consumidores da SE AT
Douradina	Umuarama 138 kV	80,34	73912,8	19217
Itamaraty	Rolândia 138 kV	80,34	73912,8	30150
Jaguapitã	Astorga 138 kV	80,34	73912,8	11511
Jardim Figueira	Apucarana 138 kV	80,34	73912,8	27624

Fonte: Copel DIS (2019).

Uma vez conhecida a demanda por consumidor de cada SE AT, foi possível estimar o crescimento do número de consumidores equivalentes para cada ano dentro do horizonte analisado, a partir do quociente entre o carregamento no ano analisado e a demanda de energia por consumidor, conforme equação (23).

$$\text{Consumidor equivalente no ano } X = \frac{\text{Carregamento no ano } X[\text{kW}]}{\text{Consm. Equivalente } [\text{kW}/\text{Cons}]} \quad (23)$$

De posse dos dados explicitados anteriormente, calcula-se quantos consumidores seriam cortados devido à ocorrência de sobrecarga, havendo três possibilidades:

- Valor de corte negativo: indica que não ocorre sobrecarga no período analisado;
- Valor nulo: indica que o carregamento da SE está em 100% de sua capacidade nominal;
- Valor positivo: indica que há sobrecarga no período analisado.

Este cálculo é realizado a partir da subtração entre o número de consumidores equivalentes para o último ano do horizonte analisado e o número máximo de consumidores que a SE AT pode atender.

O quadro 27 apresenta um resumo das informações explicitadas nesta seção.

Quadro 27 – Resumo de dados para o novo critério.

SE 34,5 kV	SE Mãe	Capacidade (consumidores)	$\frac{kW}{Cons}$	Sobrecarga em	Cons. cortados	Demanda em kW
Douradina	Umuarama 138 kV	24556	3,01	2026	2707	7335
Itamaraty	Rolândia 138 kV	40611	1,82	2027	2467	4040
Jaguapitã	Astorga 138 kV	18807	3,93	2034	0	0
Jardim Figueira	Apucarana 138 kV	32418	2,28	2024	6347	14471

Fonte: O Autor (2019).

Justifica-se a substituição do atual critério “C” pelo apresentado neste item devido à notoriedade que a busca por soluções para eliminação de sobrecarga em transformadores de alta tensão vem recebendo nos últimos anos, por parte da concessionária.

O horizonte de análise foi expandido para dez anos, que segundo a Eletrobrás (1982) é o horizonte adequado para a realização de análises do SDAT. Esta mudança trará maior confiabilidade na determinação do benefício pela eliminação de sobrecarga para os empreendimentos supracitados, uma vez que o aumento no horizonte de análise permite que seja dada maior importância às SE's que apresentam projeção de sobrecarga em seus transformadores anteriormente às demais presentes no conjunto de obras analisadas.

#### 4.4.2 Eficácia da eliminação de sobrecarga na SE fonte

Frente ao crescimento do SDAT no tocante ao número de empreendimentos que vem sendo energizados nos últimos anos, há constante preocupação quanto à eficácia dos benefícios que uma nova SE trará para a região em que está inserida.

Devido a isso, está sendo proposto um novo critério de análise que tem por objetivo ranquear o conjunto de obras quanto à duração dos benefícios previstos durante a fase de planejamento. Este critério permitirá que obras com benefícios mais duradouros sejam consideradas mais relevantes frente às demais presentes no conjunto estudado.

Em linhas gerais, o presente critério é uma extensão daquele apresentado no item 4.4.1 do presente trabalho, já que os resultados obtidos para cada SE servirão como ponto de partida para o diagnóstico do conjunto de obras quanto a duração de seus benefícios.

As premissas de estudo são as mesmas daquelas apresentadas no item 4.4.1 e todos os dados utilizados são provenientes da análise do critério supracitado.

Tendo conhecimento do número de consumidores que seriam remanejados para a nova SE AT (resultado das análises do critério apresentado no item 4.4.1), este será subtraído do atual número de consumidores da SE fonte analisada, o que permitirá a estimativa da demanda de carga remanejada, em kW. Ressalta-se que a demanda média por consumidor é calculada por meio da equação (21).

Subtraindo-se a carga projetada para o ano corrente por aquela que foi remanejada, tem-se a chamada demanda corrigida do problema, a partir da qual, considerando os mesmos percentuais de crescimento de carga utilizados nas análises anteriores, a demanda das SE's fonte será projetada para um horizonte de 10 anos, de modo que se possa estimar a duração do benefício de eliminação de sobrecarga proporcionado pelas obras futuras.

Conhecendo-se a demanda para cada ano do horizonte analisado, estima-se o número de consumidores equivalente para as respectivas datas do horizonte, de modo posteriormente possa-se calcular o novo corte de consumidores, ano após ano. Cabe salientar que, neste critério, a demanda máxima considerada para cada SE é igual a 90% da capacidade nominal de seus transformadores. Foi adotada esta aproximação para garantir uma margem de segurança às análises.

O quadro 28 apresenta o resumo de dados para o novo critério.

Quadro 28 – Resumo de dados para o novo critério.

Consumidores remanejados para eliminação de sobrecarga	kW/Cons	Consumidores 2019	Consumidor corrigido 2019	Carga remanejada [kW]	Capacidade de atendimento [consumidores]	90% da capacidade [Consumidores]
2707	3,01	19217	16510	8148,07	24556	22100
2467	1,82	30150	27683	4489,94	40611	36550
0	3,93	11511	11511	0	18807	16926
6346	2,28	27624	21278	14468,88	32418	29176

Fonte: O autor (2019).

O benefício proporcionado por cada SE é igual ao número de consumidores projetado até ano de ocorrência de sobrecarga, multiplicado por dois fatores de

correção, concebidos para adequar os resultados com as premissas crivadas para a análise deste critério, a saber:

- a) Fator de correção I: Tempo de entrada em sobrecarga;
- b) Fator de correção II: Ajuste de consumidor inicial.

O fator de correção referente ao item (a) supracitado visa enfatizar as SE's que, segundo as projeções, demorariam mais tempo para entrar em sobrecarga, tomando como norte a SE com maior eficácia neste quesito.

Este fator é calculado através da normalização do tempo de entrada em sobrecarga de cada SE em função do empreendimento que, conforme análises, levaria mais tempo para perder sua eficácia. Seu método de cálculo é apresentado pela equação (24).

$$\text{Fator de Correção I} = \frac{(\text{Ano de entrada em sobrecarga}) - (\text{ano corrente})}{\text{Maior período sem sobrecarga entre as SE's}} \quad (24)$$

Vale ressaltar que o denominador da equação (23) faz referência à maior duração do benefício entre todas as SE's comparadas. Em outras palavras, corresponde ao maior período sem ocorrência de sobrecarga dentre as SE's analisadas.

O fator de correção referente ao item (b) deste subitem visa ponderar a eficácia da eliminação de sobrecarga nas SE's em função do número de consumidores que estas apresentam no ano corrente da análise. Em linhas gerais, é almejada a correção do benefício em função do número de consumidores dos empreendimentos estudados.

Calcula-se o fator de correção II conforme a equação (25).

$$\begin{aligned} &\text{Fator de Correção II} \\ &= \frac{(\text{Consumidores no ano de sobrecarga}) - (\text{Consumidores do ano corrente})}{\text{Consumidores do ano corrente}} \quad (25) \end{aligned}$$

É necessário ajustar o resultado do presente critério quanto ao número inicial de consumidores uma vez que há grande discrepância no que se refere a este parâmetro, entre as instalações comparadas no estudo de caso.

Por fim, como explicitado anteriormente, a pontuação de cada SE é estimada através do produto entre ambos os fatores de correção apresentados e o número de consumidores projetado até o ano de ocorrência de sobrecarga.

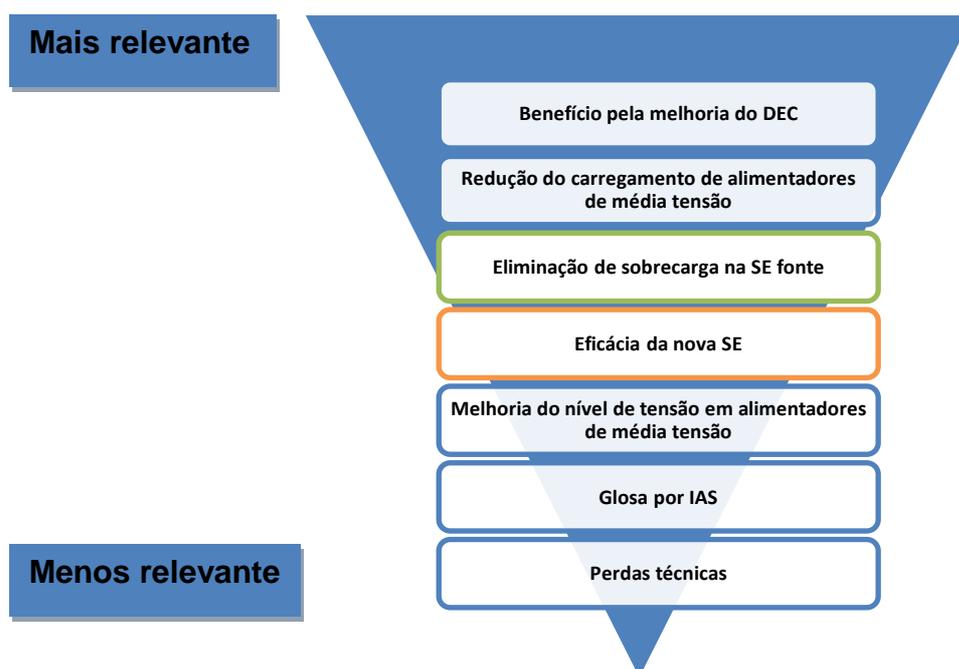
#### 4.4.3 Reavaliação dos pesos para os critérios de análise

Antes da realização das análises dos novos critérios, deve-se atualizar a hierarquia do problema, de modo a determinarem-se os novos pesos de cada critério, já que agora há sete critérios e não mais seis, como antes.

Toda a análise realizada no item 4.1.3 do presente trabalho foi refeita em função da entrada de um novo critério na metodologia de análise.

Por meio de uma investigação preliminar constatou-se que uma possibilidade de ordenamento, por relevância, dos sete critérios seria aquela descrita pela figura 29.

Figura 29 – Nova hierarquia dos critérios.



Fonte: O Autor (2019).

Uma vez determinada a hierarquia da figura 29, surge a necessidade de se renomear os critérios quanto a seus índices, de modo que possam ser determinados adequadamente os pesos para cada um dos deles.

Desta forma, tem-se o rearranjo dos critérios:

- a) Benefício pela melhoria do DEC: É a quantidade total de consumidores que devem ter seu índice DEC reduzido devido à energização de uma nova SE. Será chamado de critério “A”.
- b) Redução no carregamento em alimentadores de média tensão: É a quantidade de consumidores que, em teoria, deveriam deixar de ser atendidos pelo alimentador para que seu carregamento seja próximo de 60% para tensão de 13,8 kV e 50% para tensão de 34,5 kV. Ressalta-se que as porcentagens apresentadas são em relação à capacidade nominal do alimentador. Será chamado de critério “B”.
- c) Eliminação de sobrecarga na SE fonte: É a quantidade de consumidores que teoricamente serão remanejados para a nova SE AT para que seja eliminada a sobrecarga dos transformadores das respectivas SE's fonte. Será chamado de critério “C”.
- d) Eficácia da nova SE: É a quantidade de consumidores que serão beneficiados pela postergação da ocorrência de sobrecarga após a energização das novas SE's AT em médio prazo (10 anos). Será chamado de critério “D”.
- e) Melhoria na tensão em alimentadores de média tensão: É a quantidade de consumidores que deveriam deixar de ser atendidos para que a tensão no alimentador chegue a 93,5% de sua capacidade nominal. Será chamado de critério “E”.
- f) Glosa por IAS: É a quantidade de novos consumidores que podem ser atendidos por uma nova SE sem prejuízo no IAS das SE's fonte. Será chamado de critério “F”.
- g) Redução de perdas técnicas: É a quantidade de novos consumidores que serão atendidos pela redução de perdas em alimentadores. Será chamado de critério “G”.

Uma vez reescrita a hierarquia dos critérios, é montada a matriz A do problema, considerando o novo critério.

Quadro 28 – Nova matriz A do problema.

Matriz A de comparação dos critérios							
Critério	A	B	C	D	E	F	G
A	1,000	3,000	3,000	3,000	1,000	5,000	5,000
B	0,333	1,000	1,000	1,000	3,000	3,000	5,000
C	0,333	1,000	1,000	1,000	3,000	3,000	3,000
D	0,333	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000	5,000
E	1,000	0,333	0,333	0,333	1,000	3,000	3,000
F	0,200	0,333	0,333	1,000	0,333	1,000	3,000
G	0,200	0,200	0,333	0,200	0,333	0,333	1,000
SOMA	3,400	6,867	7,000	7,533	11,667	16,333	25,000

Fonte: O Autor (2019).

Munido da matriz A, calcula-se a matriz A normalizada para o problema.

Quadro 29 – Nova matriz A normalizada.

Matriz A normalizada							
Critérios	A	B	C	D	E	F	G
A	0,294	0,437	0,429	0,398	0,086	0,306	0,200
B	0,098	0,146	0,143	0,133	0,257	0,184	0,200
C	0,098	0,146	0,143	0,133	0,257	0,184	0,120
D	0,098	0,146	0,143	0,133	0,257	0,061	0,200
E	0,294	0,049	0,048	0,044	0,086	0,184	0,120
F	0,059	0,049	0,048	0,133	0,029	0,061	0,120
G	0,059	0,029	0,048	0,027	0,029	0,020	0,040

Fonte: O Autor (2019).

Sequencialmente à determinação da matriz A normalizada do problema, determina-se o vetor de prioridades relativas.

Quadro 30 – Novo vetor de prioridades relativas.

Critério	Prioridade Relativa
A	30,71%
B	16,57%
C	15,43%
D	14,82%
E	11,77%
F	7,11%
G	3,59%
TOTAL	100,00%

Fonte: O Autor (2019).

Para o novo cenário, tem-se o vetor de Eigen exposto no quadro 31.

Quadro 31 – Novo vetor de Eigen do problema.

Critério	Peso
A	2,3643
B	1,3163
C	1,2446
D	1,1742
E	0,9017
F	0,5342
G	0,2744

Fonte: O Autor (2019).

Aplicando a fórmula (11) do item 2.5, calculamos o Índice de Consistência do novo Vetor de Eigen do problema, sabendo que o maior autovalor da matriz da figura 54,  $\lambda_m$ , é igual a 7,7796.

$$IC = \frac{\lambda_m - n}{n - 1} = \frac{7,77965 - 7}{7 - 1} \quad (26)$$

$$IC = 0,1299 \quad (27)$$

Dando sequência na determinação dos pesos dos critérios, conforme o item 2.5, deve-se calcular a Taxa de Consistência (TC) considerando o valor de IC dado por (24).

A TC do problema é dada pela equação (12) do item 2.5. Consultando as informações da figura 7, agora para  $n = 7$ , temos que o Índice de Consistência Aleatório é:

$$IC = 1,32 \quad (28)$$

Aplicando na equação (12), calcula-se o TC do problema:

$$TC = \frac{0,1299}{1,32} \quad (29)$$

$$TC = 0,0948 \quad (30)$$

Expressando o valor encontrado em (30) através de porcentagem, tem-se que a Taxa de Consistência é igual a 9,84%. Isso significa que os pesos dos critérios estão adequados para a análise, já que:

$$TC < 15\%$$

(31)

## 4.5 Análise dos novos critérios via abordagem BI

### 4.5.1 Análise do critério de eliminação de sobrecarga na SE fonte

Para a substituição do novo critério no estudo de caso realizado, não há necessidade de reavaliarem-se todos os demais critérios, uma vez que eles são independentes entre si, em termos de análise técnica. Portanto, será desenvolvida a metodologia BI para análise do novo critério e, nesta seção do presente trabalho, serão expostos os resultados.

Todas as premissas utilizadas são as mesmas estão descritas no item 4.1.4 do presente trabalho, acrescidas daquelas expostas no item 4.4.1, referentes ao critério em questão.

A figura 30 apresenta o *dashboard* concebido para análise de sobrecarga nas SE's fonte analisadas.

Figura 30 – *Dashboard* referente ao novo critério C.



Fonte: O Autor (2019).

A ideia do visual elaborado, exposto na figura 30, é trazer informações acerca do carregamento dos alimentadores de média tensão das SE's fonte analisadas. Por isso

o mesmo apresenta uma tabela com o carregamento projetado para o horizonte de 10 anos em relação ao ano corrente da análise e o número de consumidores para cada alimentador. Estas informações permitem a determinação de parâmetros importantes para o processo, mediante aplicação das equações (21), (22) e (23).

No cartão em amarelo, tem-se a estimativa da demanda, em kW, por consumidor para cada alimentador. Clicando na SE fonte desejada, o valor em questão altera-se, expondo o parâmetro específico para a SE. Caso nenhuma seja selecionada, será exposta a média dos quatro empreendimentos.

Foi também apresentado um gráfico do tipo “clusterizado” para exibir o número de consumidores de cada SE, bem como suas respectivas capacidades de atendimento.

A figura 31 apresenta o resultado das análises para o novo critério.

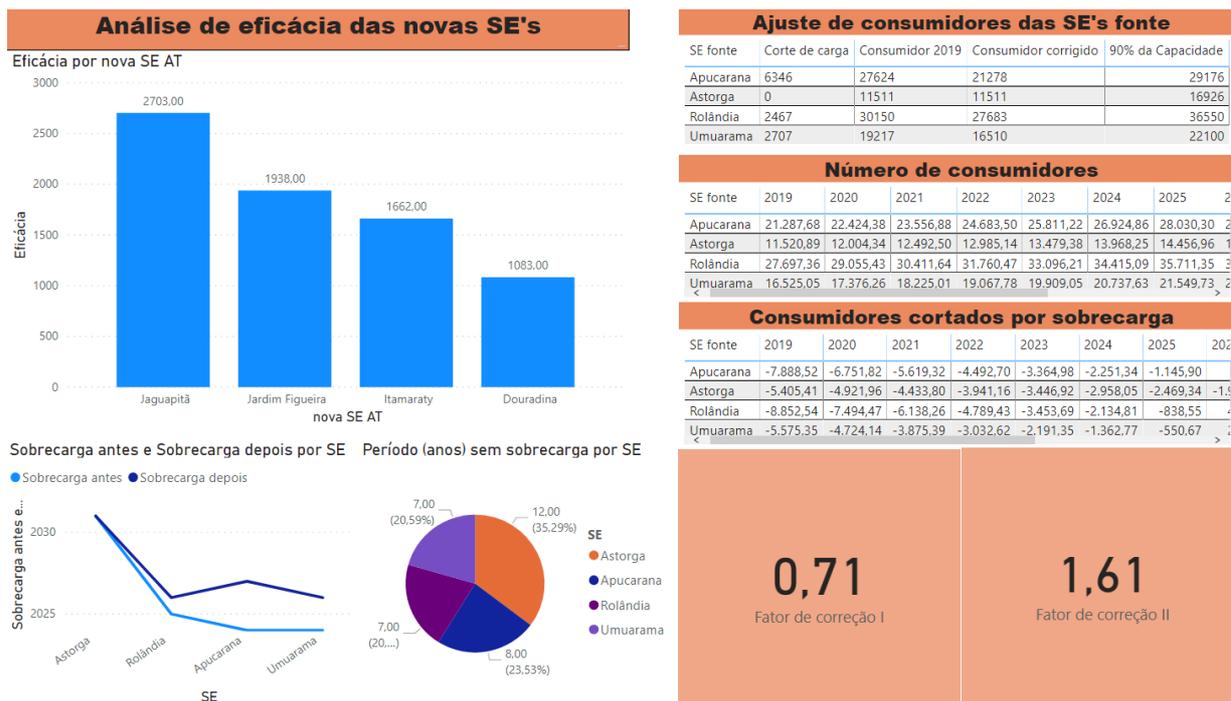
Figura 31 – Resultado das análises para o novo critério C.



Fonte: O Autor (2019).

#### 4.5.2 Análise do critério de eficácia do benefício das novas SE's

Através da metodologia apresentada no item 4.4.2 do presente trabalho, foi concebido o *dashboard* referente à avaliação do critério em questão, explicitado na figura 32.

Figura 32 – *Dashboard* referente à análise da eficácia das novas SE's.

Fonte: O Autor (2019).

Através do visual apresentado busca-se a exposição dos dados que permitam uma comparação entre dois cenários diferentes, a saber, antes e depois da energização das novas SE's AT.

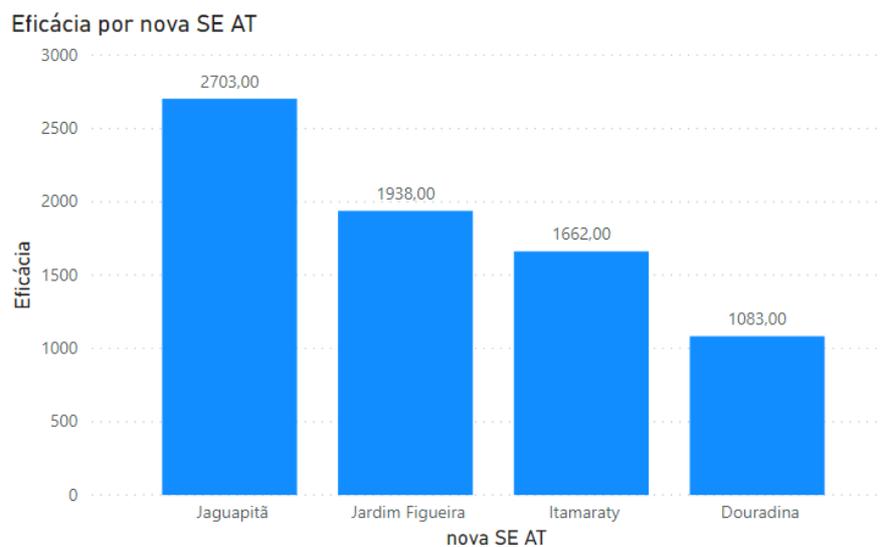
Idealmente, há expectativa que a energização das novas SE's AT postergue a reentrada em sobrecarga de suas atuais fontes. Por isso enfatiza-se a comparação entre os cenários citados no parágrafo anterior.

No *dashboard* exposto na figura 32 é preconizada a exposição dos dados referentes ao corte de consumidores em caso de sobrecarga e também, principalmente, o horizonte de operação em regime normal das SE's fonte. Busca-se enfatizar os dados citados uma vez que estes serviram para o cálculo dos dois fatores de correção, os quais estão expostos nos quadros em laranja no visual criado.

Semelhantemente aos demais visuais confeccionados para todos os critérios de priorização, o explicitado na figura 32 também é interativo. Ao clicar com o cursor do *mouse* nas fatias do gráfico tipo "pizza", referentes às SE's fontes, serão realçadas todas as informações pertinentes a ela. Da mesma forma, selecionando uma das futuras SE's 138 kV, serão realçadas todas as informações acerca de suas SE's mãe.

A figura 33 apresenta o resultado da análise do presente critério.

Figura 33 – Resultado das análises para o novo critério D.



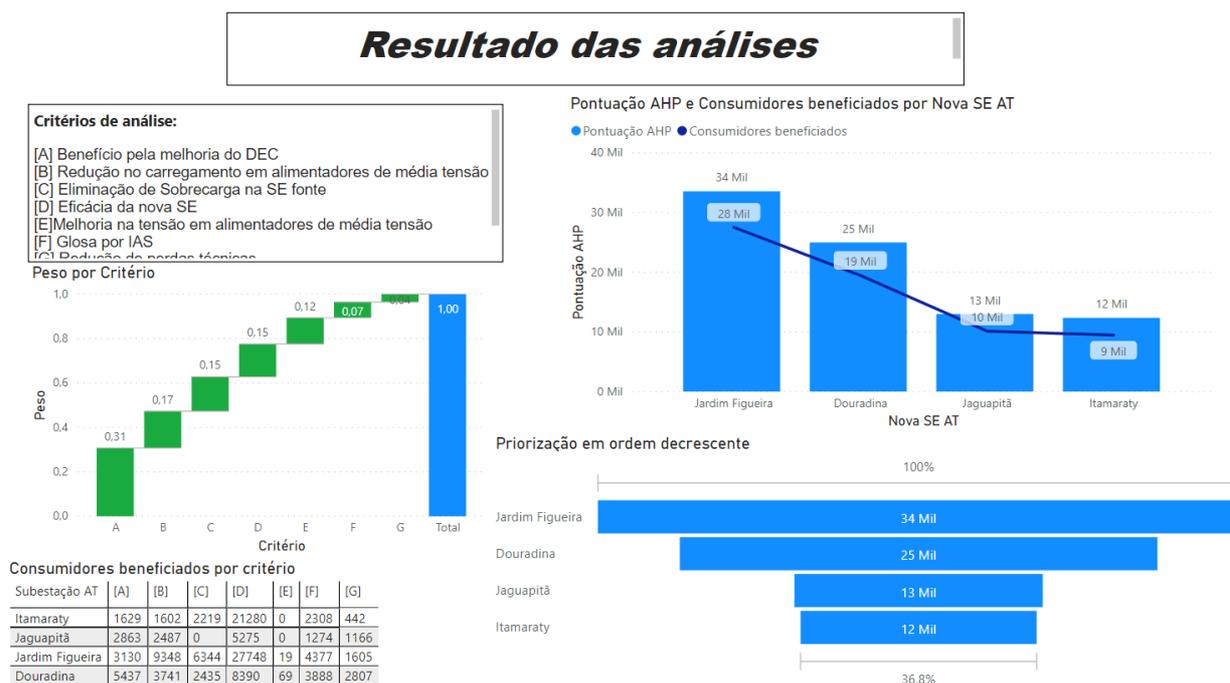
Fonte: O autor (2019).

Na prática, quanto maior for a pontuação de uma SE para o presente critério, maior será seu período de operação sem projeção de sobrecarga na SE fonte e concomitantemente menor é o corte de carga no ano em que ocorre violação dos critérios de carregamento em suas respectivas fontes.

#### 4.6 Novo ranking de obras priorizadas

O visual apresentado na figura 34 apresenta o resultado do novo processo de priorização de obras, contemplando os novos critérios de análise.

Figura 34 – Novo resultado da priorização das SE's 138 kV.

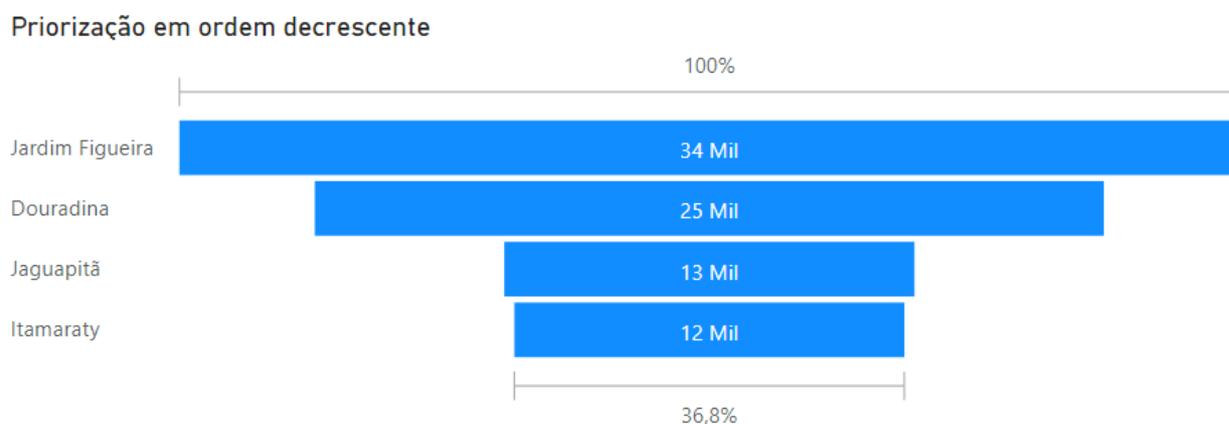


Fonte: O Autor (2019).

Semelhantemente àquele exposto na figura 27 do presente trabalho, nele estão mostradas as informações acerca dos resultados do processo, a exemplo dos pesos de cada critério, número de consumidores beneficiados por SE e o ranking de priorização em si.

A escolha dos tipos de gráficos utilizados justifica-se pelas mesmas razões apresentadas para o *dashboard* da figura 35.

Figura 35 – Novo ranking de obras prioritárias.



Fonte: O Autor (2019).

## 4.7 Comparações entre as metodologias

### 4.7.1 Resultados do estudo de caso

A atualização dos critérios de análise culminou em uma mudança no resultado final do processo de priorização das obras em questão. A SE Jardim Figueira manteve-se como empreendimento mais relevante do conjunto estudado, enquanto que Douradina elevou-se para a segunda colocação do ranking, seguido de Jaguapitã e Itamaraty, conforme mostra a figura 35.

Jardim Figueira foi proposta visando maior confiabilidade operacional, redução na extensão das redes de distribuição, isso tudo de modo a reduzir-se perdas no sistema e melhorar a qualidade e a continuidade da energia fornecida. Ou seja, a justificativa de energização deste empreendimento engloba todos os aspectos analisados no processo de priorização, o que explica o elevado número de consumidores beneficiados da SE por critério estudado.

A ascensão de Douradina na priorização é atribuída aos mesmos fatores explicitados para a SE Jardim Figueira. A justificativa das obras é idêntica, e a presente SE subiu no ranking pelos mesmos motivos os quais levaram Jardim Figueira a tornar-se a obra prioritária. Apesar das elevadas pontuações individuais por parâmetro, Douradina não superou Jardim Figueira, pois possui 30% menos consumidores em relação a SE supracitada, o que impacta diretamente no resultado final das análises, além de apresentar uma quantidade menor de alimentadores de média tensão.

Jardim Figueira apresentou o maior número de consumidores beneficiados pela melhoria do carregamento em alimentadores de média tensão entre todas as SE's analisadas, enquanto que a Douradina apresentou a melhoria mais expressiva do DEC. Atualmente, as condições do SDAT na região de Apucarana, onde se localiza Jardim Figueira, são notórias quanto à sobrecarga em LDAT's, violação de critérios de planejamento de média tensão no tocante especialmente a carregamento, e qualidade de energia, devido ao grande número de consumidores e o aumento de demanda ano a ano. Já na região de Umuarama, o dilema maior é a melhoria do DEC, pois apresenta índices fora da meta estabelecida para a distribuidora.

O declínio na pontuação da SE Jaguapitã se deve pois sua pontuação no critério C foi zero, o que resultou em uma perda expressiva de pontuação, já que o critério em questão possui 15,43% de peso. Além disso, este empreendimento é o que possui o

menor número de consumidores atendidos, o que fomenta a baixa pontuação da SE. Hoje a principal questão é a redução de perdas técnicas e melhoria da qualidade da energia distribuída. Os pontos citados apresentaram as maiores pontuações para Jaguapitã, todavia para análise do conjunto não houve grande influência, visto que a pormenorização de perdas técnicas possui o menor peso dentre os critérios do processo.

Itamaraty apresentou um número de consumidores beneficiados por critério uniforme, porém relativamente baixo em relação ao restante do conjunto, por isso, devido ao incremento na pontuação das demais SE's em virtude das alterações nos critérios, a mesma caiu no que se refere à ordem de prioridade.

Em suma, as alterações no resultado frente ao novo cenário proposto são condizentes com as questões práticas às quais as SE's estão atualmente sob influência. Também cabe destacar que as alterações realizadas nos critérios trouxeram maior seletividade ao processo, fato este que justifica a mudança no ranking de obras prioritárias e a considerável redução na pontuação das SE's.

Quanto ao método AHP, a alteração na concepção e na hierarquia dos critérios melhorou a Taxa de Consistência (TC) do problema, fomentando uma tomada de decisão mais segura do ponto de vista técnico, conforme sugere Saaty (1980). Antes das devidas modificações, a TC do problema era de 12,58%, reduzindo-se para 9,84% com a implementação dos novos critérios.

#### **4.7.2 Aplicação da abordagem BI**

Quanto à aplicação da metodologia com abordagem BI, a mesma tornou o processo mais ágil, em função da automatização de cálculos intrínsecos ao processo, a exemplo das variáveis auxiliares utilizadas para determinação dos resultados parciais de cada critério. O software Power BI pode processar automaticamente diversos estudos de priorização, ao contrário do Excel, no qual seria necessário aumentar ou diminuir manualmente a extensão das fórmulas utilizadas no que se refere ao número de linhas das tabelas.

A visualização de resultados tornou-se mais didática com a aplicação do BI, visto que substituiu diversas tabelas por *dashboards* compostos por gráficos dos mais variados tipos, cartões e pequenas tabelas que expõe a base de dados usada para cada critério analisado. Esta mudança é de suma importância visto que agora se pode

mais intuitivamente analisar critério a critério, comparar duas SE's, por exemplo, por meio de cliques do *mouse* nos respectivos *dashboards*.

Além dos pontos apresentados no parágrafo anterior, a interatividade entre os elementos de cada *dashboard* permite que sejam realizadas análises pontuais, de modo que questionamentos bem específicos possam ser respondidos, uma vez que ela garante que cada elemento analisado possa ser visualizado individualmente.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que a implementação da metodologia BI ao processo de priorização de obras de subestações 69 kV e 138 kV proporcionou maior interatividade no processo, deixando-o mais dinâmico.

O que antes era visualizado estritamente por meio de numerosas planilhas eletrônicas no formato do Excel, agora passa a ser exibido por meio de *dashboards* que permitem análises gerais e específicas, para cada critério e para o resultado final, proporcionando um importante amparo na busca por respostas a eventuais questionamentos que possam surgir durante as análises.

Quanto à concepção de novos critérios à metodologia apresentada, esta ação trouxe maior segurança do ponto de vista técnico para a determinação do *ranking* de obras prioritárias, visto que tornou a avaliação das obras mais rigorosa. Isto é comprovado mediante a redução do TC, de 12,58% para 9,84% após a inserção do novo critério. Aliando crescimento do mercado consumidor e ocorrências de sobrecarga no SDAT a médio e longo prazo, os novos critérios implementados carregam consigo a incumbência de primar pela distribuição de energia elétrica com segurança e confiabilidade.

No que se refere aos objetivos específicos do presente trabalho e o principal, todos foram integralmente alcançados. O estudo de caso descrito como o primeiro objetivo específico foi realizado e posteriormente foi escolhida uma ferramenta para implementação do BI, que corresponde ao segundo objetivo parcial do trabalho. Uma vez desenvolvida a metodologia em explicitada, foram realizadas alterações nos critérios de análise de estudo de caso, a saber, a substituição de um critério e a criação de um novo. As análises foram refeitas, já contemplando as alterações supracitadas, e ao final, as devidas comparações entre as metodologias utilizadas foi feita com base em informações do Programa de Obras da Distribuição 2020-2026 (Copel DIS, 2019), de modo a corroborar o resultado final frente à atual situação do SDAT do Paraná.

Em suma, os resultados apresentados nesta monografia atenderam às expectativas criadas, tornando o processo mais dinâmico, didático e seguro.

## 5.1 Diretrizes para trabalhos futuros

Para a realização de trabalhos futuros recomenda-se um maior aprofundamento no software Power BI especialmente no tocante à inserção de dados para realização de análises, uma vez que a ferramenta permite aquisição de dados de diversas fontes, a exemplo do Microsoft Access, bancos de dados do Azure Analysis Systems e de servidores SQL.

Pode-se estudar meios de interligação entre os bancos de dados e softwares da concessionária, e o Power BI de modo a automatizar o processo de transferência de informações e agilizar a tratativa dos dados para alicerçar os procedimentos internos da ferramenta.

Sugere-se a utilização do software Power BI, em complemento ao pacote Office e ao Qlik, para atividades corriqueiras no departamento como elaboração de gráficos e tabelas para utilização em documentos da empresa, e elaboração de visuais para apresentações e reuniões.

Outro ponto recomendado para futuros trabalhos é criar e implementar novos critérios de análise com viés financeiro, no tocante a custo-benefício das obras, para complementar os sete propostos nesta monografia.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELETROBRÁS. **Planejamento de sistemas de distribuição**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1982. v.1 Coleção distribuição de energia elétrica.

FLETCHER, R. H.; STRUNZ, K..**Optimal distribution system horizon planning - part I: Formulation**. IEEE Transactions on Power Systems, New York, v.22, n.2, p.791-799, 2007.

FLETCHER, R. H.; STRUNZ, K..**Optimal distribution system horizon planning - part II: Application**. IEEE Transactions on Power Systems, New York, v.22, n.2, p.862-870, 2007.

GONEN, T. **Electric power distribution system engineering**. 2. ed. Boca Raton FL EUA: CRC Press, 2008.

CANDIAN, F. J.; PADILHA-FELTRIN, A. **Planejamento da Expansão de Sistemas Elétricos de Distribuição Considerando Fatores de Riscos em Análise Econômica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS. SBSE, 2008, Belo Horizonte, Anais.. Belo Horizonte: [s.n], 2008.

Aneel. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist – Módulo 2: Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição**, Brasília, Abril de 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-2>>.

Aneel. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist – Módulo 8: Qualidade da Energia**, Brasília, Abril de 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>.

COPEL DISTRIBUIÇÃO. **Programa de Obras da Distribuição 20-26**. Documento interno, 426 p., 2019.

KAGAN, Nelson; DE OLIVEIRA, Carlos César Barioni; ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**, 1. ed., São Paulo: Editora Blucher, 2005.

PEREIRA, Alexandre da Silva. **Um guia para justificar a adoção de Business Intelligence nas pequenas e médias empresas brasileiras**. Dissertação (Mestrado

em Informática) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 131 p. 2015.

LOH, Stanley. **BI na Era do Big Data para Cientistas de Dados**: indo além de cubos e *Dashboards* na busca pelos porquês, explicações e padrões. Porto Alegre: S.e., 2014. 158 p. Disponível em: <<http://www.intext.com.br/livro-BI-stanley-loh.pdf>>.

BARBIERI, Carlos. **BI2 - Business Intelligence**: modelagem e qualidade. 1a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

CHAUDHURI, S., DAYAL, U., e NARASAYYA, V. **An overview of business intelligence technology**. Communications of ACM, v. 54 n. 8, 2011.

PONTARA PERES DE MOURA, Fabio. **Proposta de Indicadores de Desempenho para Incorporadoras Com Uso de Técnicas de Business Intelligence**. Dissertação (Mestrado em Geração e Transferência de Tecnologia) – Institutos LACTEC, Faculdade Cidade Verde, Curitiba, 106 p., 2019.

SAATY, T.L., **How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process**, European Journal of Operational Research, Vol.48 No.1, 1980. Disponível em: <<http://www.scopus.com>>

SAATY, T. L., **Método de Análise Hierárquica**, Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP, 1991.

SAATY, T. L., **The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making**, em Figueira, J., Greco S. e Ehrgott, M. Multiple Criteria Decision Analysis: state of the art surveys, Springer Science, Business Media, New York, 2005.

VARGAS, R.V., **Utilizando a programação multicritério (AnalyticHierarchyProcess – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio**, em PMI Global Congress – América do Norte, 2010, Washington – EUA, disponível em <http://www.ricardo-vargas.com/articles/analytic-hierarchy-process/#portuguese>.

**Energia limpa: Brasil registra 88% de fontes renováveis na produção de energia em junho**. Ministério de Minas e Energia, 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras->

noticias//asset\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/energia-limpa-brasil-registra-88-de-fontes-renovaveis-na-producao-de-energia-em-junho>. Acesso em: 17/10/2019.

PINTO, Cleverson Luiz da Silva. **Otimização em dois níveis aplicada a priorização de obras do sistema de distribuição, voltada ao cumprimento dos índices de continuidade**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 176 p. São Paulo. 2008.