

**ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

SIDVAL LIMA BARROS

**VISÃO PANORÂMICA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL:
CENÁRIO ATUAL, INCENTIVOS FISCAIS E IMPACTOS NA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO**

**São Paulo
2017**

SIDVAL LIMA BARROS

**VISÃO PANORÂMICA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL:
CENÁRIO ATUAL, INCENTIVOS FISCAIS E IMPACTOS NA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO**

Monografia apresentada como exigência de conclusão de curso do Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica (PECE) da Universidade de São Paulo - Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração: Geração Distribuída, Impactos na Rede de Distribuição e Penetração de Geração Distribuída

Orientador: Prof. Dr. Roberto Castro

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação

Barros, Sidval

Visão Panorâmica da Geração Distribuída no Brasil:

Cenário Atual, Incentivos Fiscais e Impactos na Rede de Distribuição

/ S. Barros -- São Paulo, 2017.

62 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais,
filhas, esposa e amigos, pelo incentivo
e força para alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar sempre presente em minha vida e ajudar a desenvolver esta monografia.

Ao Prof. Dr. Roberto Castro pela orientação dada neste trabalho e em sala de aula, sempre coerente e esclarecedor.

Aos meus pais, filhas, esposa e amigos, pela paciência, apoio, carinho e amor.

Aos amigos de trabalho da AES Eletropaulo, Ricardo Candido da Silva e Ricardo Rodrigues Ferreira, pelas trocas de conhecimentos técnicos, ideias, correções, incentivo que me possibilitaram desenvolver este trabalho.

À empresa AES Eletropaulo por fornecer material e ferramentas para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“O homem inteligente aprende com seus próprios sofrimentos; o homem sábio aprende com os sofrimentos alheios”.

Platão

RESUMO

O trabalho apresentado contextualiza o cenário atual da Geração distribuída no Brasil, faz um levantamento dos incentivos fiscais que o governo oferece para a expansão e, principalmente, avalia, por meio de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, os níveis de penetração e os impactos da geração distribuída na Rede de Distribuição de Energia Elétrica, especificamente a Geração Distribuída Solar Fotovoltaica de microgeração residencial em paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica, a qual é a mais predominante atualmente e nas projeções.

Palavras-chave: Geração Distribuída, Penetração, incentivos e Impactos na Rede de Distribuição.

ABSTRACT

The work presented contextualizes the current scenario of Distributed Generation in Brazil, it surveys the fiscal incentives that the government offers for expansion and, mainly, evaluates, through bibliographical research and case studies, the penetration levels and the impacts of Distributed Generation in the Electric Energy Distribution Network, specifically the Distribution Solar Photovoltaic Generation of residential microgeneration connected in parallel with the electricity distribution network, which is the most predominant currently and in the projections of the specialists.

Keywords: Distributed Generation, Penetration, Incentives and Impacts in the Distribution Network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquemático da Geração, Transmissão e Distribuição de Energia.....	3
Figura 2.2 - Tipos de curva de carga.....	4
Figura 2.3 - Esquemático da Geração Distribuída.....	6
Figura 3.1 - Potência Instalada (MW) até 23/05/2017.....	8
Figura 3.2 - Nº de Conexões por Estado até 23/05/2017.....	8
Figura 3.4 - Projeção das Unidades Consumidoras que receberiam créditos.....	14
Figura 3.5 - Projeção da Potência Instalada.....	15
Figura 3.6 - Impacto % acumulado 2017-2024 por distribuidora.....	16
Figura 4.1 - Desenho Unifilar do alimentador SLB-108.....	21
Figura 4.2 - Curva de Carga SLB-108.....	22
Figura 4.3 - Curva da Microgeração SLB-108.....	23
Figura 4.4 - Curva do Fator de Potência SLB-108.....	24
Figura 4.5 - Curva das Perdas Técnicas SLB-108.....	25
Figura 4.6 - Carregamento dos transformadores SLB-108 – Admissível.....	26
Figura 4.7 - Carregamento dos transformadores SLB-108 – Acima da Admissível...27	
Figura 4.8 - Curva da Tensão, adequada SLB-108.....	28
Figura 4.9 - Curva da Tensão, Precária SLB-108.....	29
Figura 4.10 - Curva da Tensão, crítica SLB-108.....	30
Figura 4.11 - Curva da Tensão, sobretensão \ Precária SLB-108.....	31
Figura 4.12 - Desenho Unifilar do alimentador SLB-102.....	33
Figura 4.13 - Curva de Carga SLB-102.....	34
Figura 4.14 - Curva da Microgeração SLB-102.....	35
Figura 4.15 - Curva do Fator de Potência SLB-102.....	36
Figura 4.16 - Curva das Perdas Técnicas SLB-102.....	37
Figura 4.17 - Carregamento dos transformadores SLB-102, admissível.....	38
Figura 4.18 - Carregamento dos transformadores SLB-102, acima da Admissível...39	
Figura 4.19 - Curva da Tensão, adequada SLB-102.....	40
Figura 4.20 - Curva da Tensão, precário SLB-102.....	41
Figura 4.21 - Curva da Tensão, crítico SLB-102.....	42
Figura 4.22 - Curva da Tensão, sobretensão \ crítico SLB-102.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Carregamento Máximo Admissível para Transformadores Monofásicos.....	5
Tabela 2.2 - Carregamento Máximo Admissível para Transformadores Trifásicos.....	5
Tabela 3.1 – Etapas do processo de solicitação de acesso.....	12
Tabela 4.1 - Demanda SLB-108.....	22
Tabela 4.2 - Geração Fotovoltaica SLB-108.....	23
Tabela 4.3 - Fator de Potência SLB-108.....	24
Tabela 4.4 - Perdas Técnicas SLB-108.....	25
Tabela 4.5 - Carregamento dos transformadores SLB-108, admissível.....	26
Tabela 4.6 - Carregamento dos Transformadores SLB-108, acima da admissível.....	27
Tabela 4.7 - Faixas de Classificação da Tensão Nominal Superior a 1kV e inferior a 69kV.....	28
Tabela 4.8 - Tensões, adequada SLB-108.....	29
Tabela 4.9 - Tensões, precária SLB-108.....	30
Tabela 4.10 - Tensões, crítica SLB-108.....	31
Tabela 4.11 - Tensões, sobretensão \ Precária.....	32
Tabela 4.12 - Demanda SLB-102.....	34
Tabela 4.13 - Geração Fotovoltaica SLB-102.....	35
Tabela 4.14 - Fator de Potência SLB-102.....	36
Tabela 4.15 - Perdas Técnicas SLB-102.....	37
Tabela 4.16 - Carregamento dos transformadores, admissível SLB-102.....	38
Tabela 4.17 - Carregamento dos transformadores, acima da admissível SLB-102.....	39
Tabela 4.18 - Tensões, adequada SLB-102.....	40
Tabela 4.19 - Tensões, precária SLB-102.....	41
Tabela 4.20 - Tensões, crítica SLB-102.....	42
Tabela 4.21 - Tensões, sobretensão \ crítica.....	43
Tabela 4.22 - Compilação dos resultados.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente Alternada
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
RDEE	Rede de distribuição de Energia Elétrica
ETD	Estação Transformadora de Distribuição
FP	Fora Pico
GC	Geração Centralizada
GD	Geração distribuída
GDFV	Geração Distribuída Solar Fotovoltaica
GTD	Geração, Transmissão e Distribuição
MME	Ministério de Minas e Energia
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PPT	Programa Prioritário de Termoelétricas
RDEE	Rede de Distribuição de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
SIN	Sistema Elétrico Interligado Nacional
TR	Tensão de Referência
UNB	Universidade de Brasília
UC	Unidades Consumidora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Por que estudar os impactos da geração distribuída na rede de distribuição? ..	1
1.2 Metodologia Utilizada.....	2
2. DADOS TÉCNICOS DA REDE	2
2.1 O funcionamento do sistema elétrico	2
2.1.1 O funcionamento convencional do sistema elétrico	2
2.1.2 O funcionamento do sistema elétrico com o advento da geração distribuída	6
A seguir, apresenta-se um breve histórico da GD no Brasil.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1 Histórico	7
3.2 Incentivos Fiscais.....	9
3.3 Cenário Atual	10
3.4 Projeções para o horizonte 2017-2024	14
3.5 Quanto é o limite de penetração de GD benéfico na rede de distribuição?	16
3.5.1 Impactos da Geração Distribuída.....	17
4 ESTUDO DE CASO	18
4.1 Simulação computacional	18
4.2 SinapGrid	19
4.3 Limites de Penetração para GD.....	19
4.4 Estudo de Caso 1.....	20
4.4.1 Análise da demanda	21
4.4.2 Análise da Microgeração	22
4.4.3 Análise do Fator de Potência.....	23
4.4.4 Análise de Perdas.....	24
4.4.5 Análise do Carregamento dos transformadores	25
4.4.6 Análise da Tensão	27

4.5 Estudo de Caso 2.....	32
4.5.1 Análise da demanda	33
4.5.2 Análise da microgeração	34
4.5.3 Análise do Fator de Potência.....	35
4.5.4 Análise de Perdas.....	36
4.5.5 Análise do carregamento dos transformadores	37
4.5.6 Análise da Tensão	39
4.6 Compilação dos Resultados.....	43
5. RECOMENDAÇÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

O propósito deste trabalho é contextualizar o cenário atual da Geração Distribuída (GD) no Brasil, fazer um levantamento dos incentivos fiscais que o governo oferece para a expansão, os impactos da energia injetada na Rede de Distribuição de Energia Elétrica (RDEE) e, principalmente, os níveis de penetração de GD na RDEE. Considera-se GD como o oposto da Geração Centralizada, pois é instalada próxima à carga e de forma dispersa.

O objetivo é avaliar através de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, os níveis de penetração e os impactos da GD na rede de distribuição, especificamente a Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV), especificamente microgeração residencial em paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica, a qual é a mais predominante atualmente e nas projeções de crescimento da GD segundo dados da ANEEL (2017), após as simulações pretende-se chegar a algumas conclusões e/ou recomendações.

A seguir apresenta a metodologia utilizada para a sua realização e depois procura-se justificar a execução deste estudo ao responder as seguintes perguntas: Por que estudar os impactos da geração distribuída na rede de distribuição? Qual é o limite benéfico de penetração de GD em um alimentador?

1.1 Por que estudar os impactos da geração distribuída na rede de distribuição?

Conforme se pretende expor nos próximos tópicos a aplicação da Geração Distribuída (GD) é algo recente no Brasil. Diante de tal fato, pouco se sabe a respeito dos impactos das GD na rede de distribuição de energia elétrica (RDEE), pretende-se também determinar se há algum limite para a entrada de GD sem que se afete o desempenho das redes. A finalidade é obter um nível aceitável de penetração de GD que não interfira na confiabilidade da Rede de distribuição de energia elétrica (RDEE). O tópico a seguir apresenta a metodologia a ser utilizada para a realização deste trabalho.

1.2 Metodologia Utilizada

A metodologia que se propõe para a realização deste trabalho é embasada em pesquisa qualitativa e estudo de caso.

A operacionalização da pesquisa se dará através dos seguintes passos:

- levantamento de referência bibliográfica especializada em Geração Distribuída;
- seleção de autores, entidades e literatura relevante;
- levantamento dos conceitos sobre Geração Distribuída e assuntos relacionados a legislação, incentivos e impactos de sua aplicação;
- O estudo de caso se dará através de simulações em ferramenta computacional “SinapGrid” afim de analisar o impacto da injeção da energia excedente de GD nas redes de distribuição.

2. DADOS TÉCNICOS DA REDE

São objetos desta revisão bibliográfica uma breve explanação sobre o sistema elétrico e sobre o seu funcionamento com o advento da GD, um resumo da história da Geração Distribuída (GD) no Brasil, a caracterização do cenário atual, o levantamento dos incentivos fiscais para fomento desta tecnologia, os impactos, as projeções a longo prazo e os limites de penetração de GD nas redes de distribuição de energia elétrica.

2.1 O funcionamento do sistema elétrico

Com o objetivo de embasar e se comparar o sistema elétrico antes e depois da Geração Distribuída, a seguir apresentam-se o funcionamento convencional do sistema elétrico e em seguida o funcionamento do sistema elétrico com o advento da geração distribuída.

2.1.1 O funcionamento convencional do sistema elétrico

Segundo Reis (2015) o sistema elétrico é composto por Geração, transmissão e distribuição (GTD). A geração é formada pelas usinas de energia elétrica, de diversas fontes, e geralmente localizam-se distante das cargas (consumidores), pode-se caracterizar Geração Centralizada (GC). A transmissão é responsável por transportar

a energia em grandes blocos por grandes distâncias. Já a distribuição é encarregada de distribuir a energia elétrica para os consumidores finais, de grande ou pequeno porte. Na figura 2.1, abaixo, pode-se visualizar o esquemático da GTD.

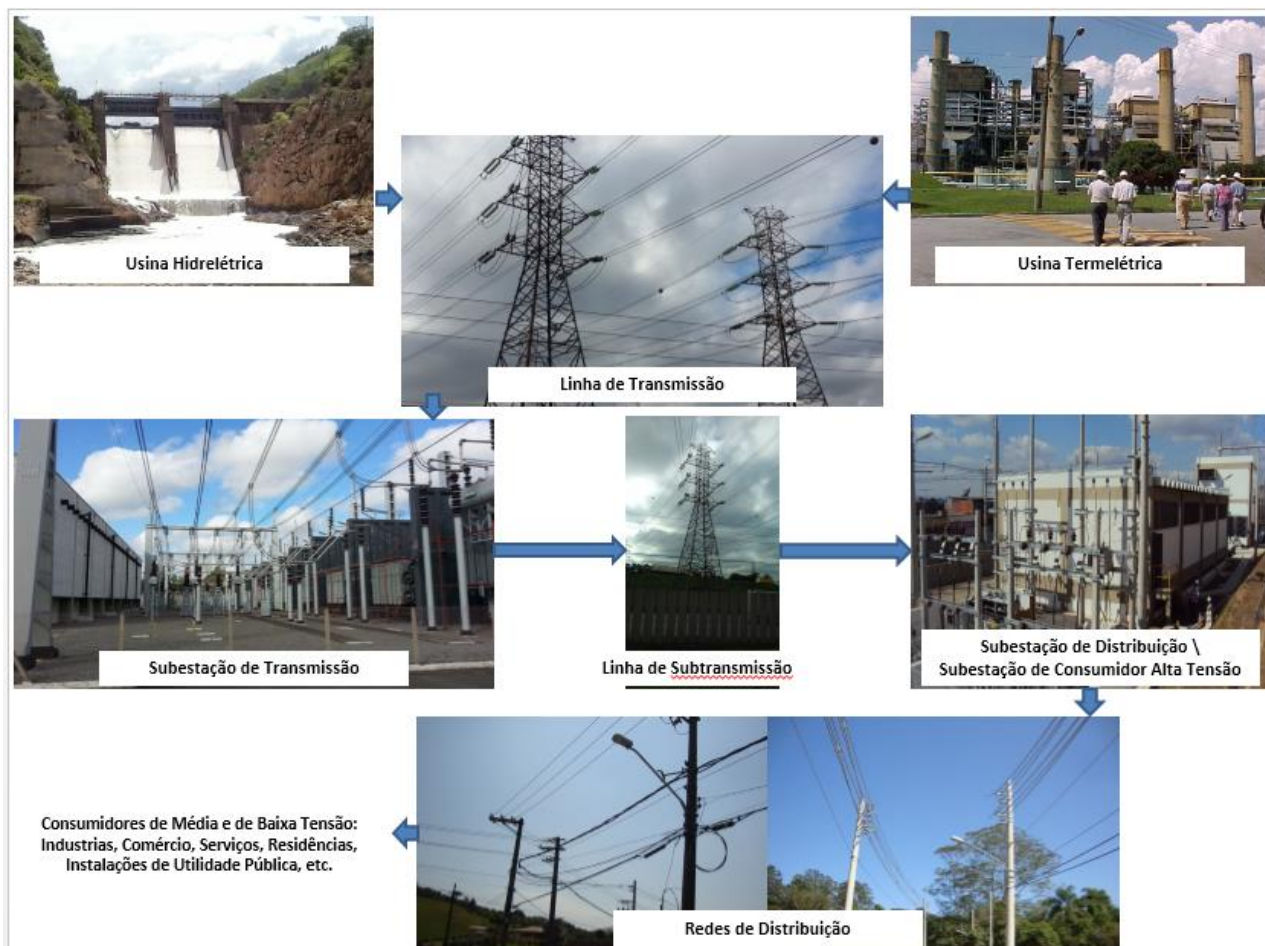


Figura 2.1 - Esquemático da Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica (GTD), fonte: o Autor

O sistema de distribuição de energia elétrica possui diversos componentes, tais como: subestações, rede primária, rede secundária, transformadores, reguladores de tensão, banco de capacitores, dentre outros, alguns deles serão mencionados na revisão bibliográfica e no estudo de caso, o que justifica um breve detalhamento a respeito de tais equipamentos, a seguir:

2.1.1.1 Subestação

Segundo ANEEL (2010) e ABRADDEE, as subestações abaixadoras compreendem os dispositivos de manobra, controle, proteção, transformação e demais equipamentos, geralmente, localizam-se próximas aos centros de cargas e tem como principal função transformar as tensões de transmissão (Alta Tensão 230kV) ou subtransmissão

(69kV, 88kV e 138kV) para tensões de distribuição (de 3kV à 34,5kV, na grande São Paulo a mais usual é a 13,8kV).

2.1.1.2 Rede primária

De acordo com ANEEL (2010) e Galvão; Grimoni; Udaeta (2004) as redes primárias de distribuição podem ser aéreas ou subterrâneas, recebem a tensão rebaixada (3kV a 34,5kV) através da subestação e percorrem longos caminhos para distribuir a energia para os consumidores de média ou baixa tensão. Segundo a Universidade de Brasília (UNB) (2006) estes alimentadores podem ser caracterizados conforme sua curva de carga, conforme figura 2.2 abaixo, algumas são: Residencial, comercial, industrial, rural, dentre outros.

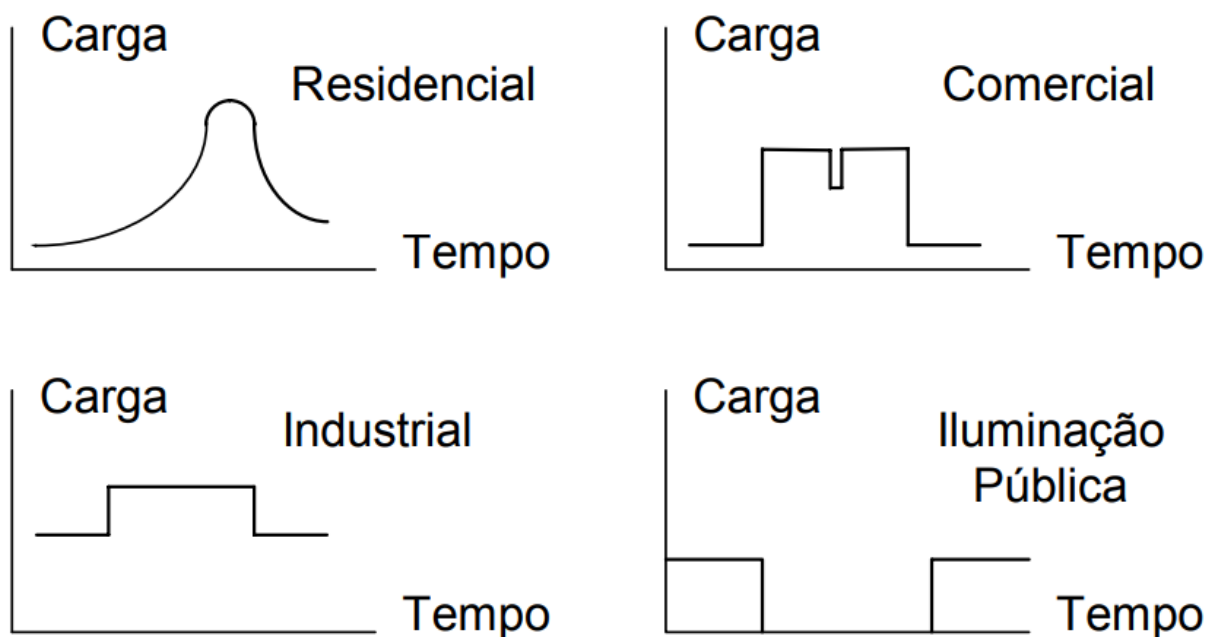


Figura 1.2 - Tipos de curva de carga, fonte: UNB

2.1.1.3 Rede secundária

Ainda ANEEL (2010) e Galvão; Grimoni; Udaeta (2004), as redes secundárias de distribuição também podem ser aéreas ou subterrâneas, recebem a tensão rebaixada (115 V a 230 V) através de transformadores rebaixadores e percorrem pequenos caminhos para distribuir a energia para os consumidores de baixa tensão através de ramais de ligação.

2.1.1.4 Transformador de distribuição

Segundo Poppius (2012) os transformadores são equipamentos que ficam instalados nos postes e nas subestações, eles são responsáveis pela transformação da energia elétrica sob a forma de Corrente Alternada (CA) da rede primária para a rede secundária.

As Tabelas 2.1 e 2.2, abaixo, demonstram respectivamente o carregamento máximo admissível para os transformadores monofásicos e trifásicos, de acordo com o carregamento da carga.

Potência Nominal do Transformador (kVA) – MONOFÁSICO						
10	15	25	37,5	50	75	100
Carregamento Máximo Admissível para Atendimento (kVA)						
13	20	33	49	65	94	125
Carregamento Máximo Admissível pelo Transformador (kVA)						
16	24	40	60	80	112,5	150

Tabela 2.1 - Carregamento Máximo Admissível para Transformadores Monofásicos, adaptado de NT-2.018 AES Eletropaulo (2007).

Potência Nominal do Transformador (kVA) - TRIFÁSICO											
15	30	45	75	112,5	150	225 R	225 C	300 R	300 C		
Carregamento Máximo Admissível para Atendimento (kVA)											
20	39	59	94	141	188	281	248	375	330		
Carregamento Máximo Admissível pelo Transformador (kVA)											
24	48	72	112,5	169	225	338	270	450	360		

Tabela 2.2 - Carregamento Máximo Admissível para Transformadores Trifásicos, adaptado de NT-2.018 AES Eletropaulo (2007).

2.1.1.5 Reguladores de tensão

De acordo com AES Eletropaulo (2017), trata-se de equipamento conectado ao alimentador primário de distribuição aérea, sua função é manter os níveis de tensão adequados ao longo do trecho, conforme PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) módulo 8.

2.1.1.6 Banco de capacitores

Bancos de capacitores são equipamentos instalados em circuitos primários de distribuição de energia elétrica para a compensação de potência reativa indutiva e

consequente aumento do fator de potência, redução das quedas de tensão ao longo do circuito, redução de perdas técnicas e aumento de disponibilidade de capacidade no sistema de distribuição.

2.1.2 O funcionamento do sistema elétrico com o advento da geração distribuída

A energia gerada através da GD percorre o caminho inverso das redes de distribuição, pois são geradas através de energias renováveis (Fotovoltaica, eólica, etc.) nas instalações internas dos consumidores de baixa ou média tensão, dentro dos centros de cargas, e o excedente é transmitido através da rede de distribuição de energia elétrica até outros consumidores, conforme figura 2.3, abaixo.

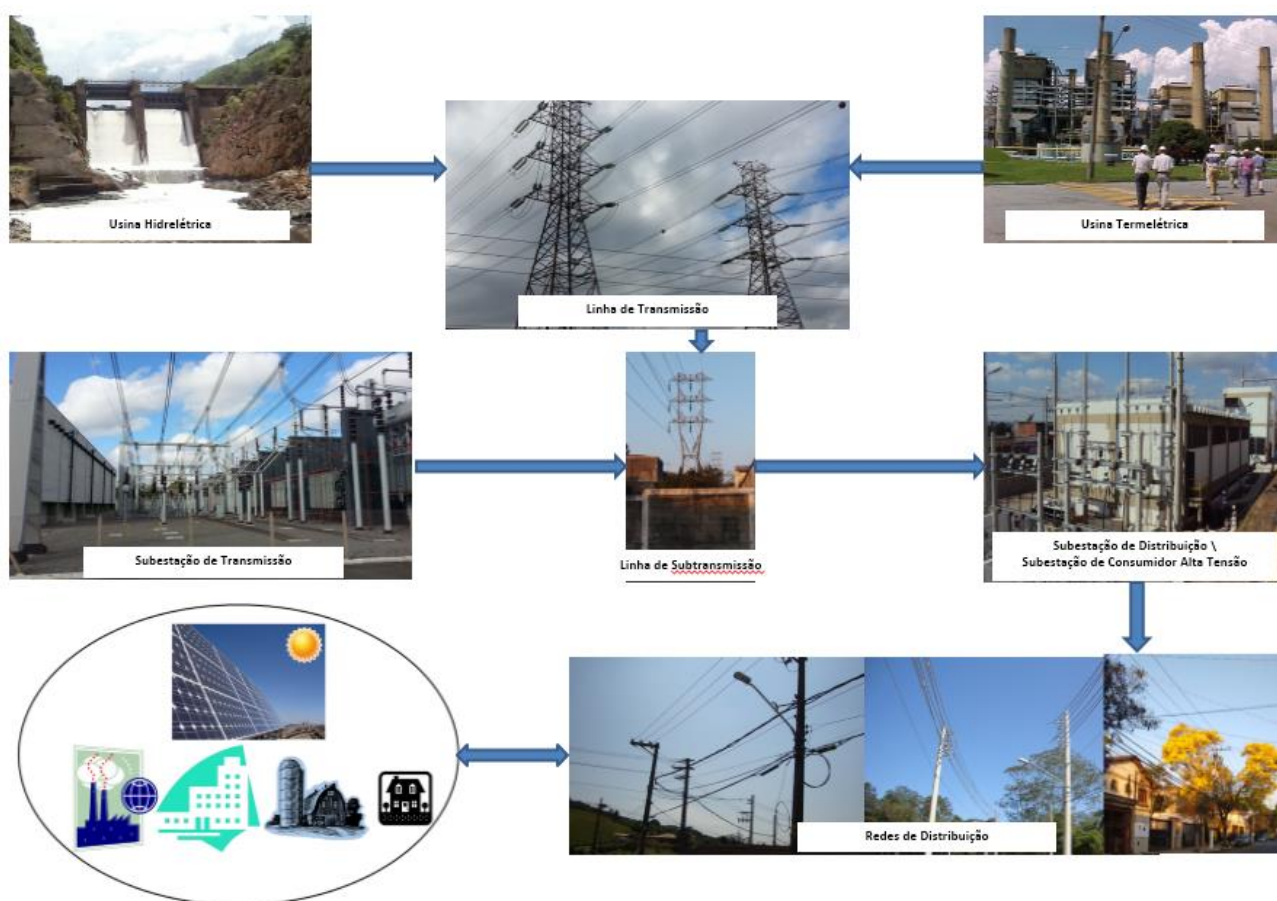


Figura 2.2 - Esquemático do Sistema Elétrico com a Geração Distribuída (GD), fonte: o Autor

A seguir, apresenta-se um breve histórico da GD no Brasil

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico

De acordo com Baer (2002), o Brasil passou por um período de estiagem e por conta disso os níveis dos reservatórios das usinas hidroelétricas ficaram abaixo dos limites de segurança de operação, essa situação demonstrou a fragilidade da matriz elétrica que dependia dessa fonte quase em sua totalidade e a necessidade da busca de fontes alternativas de geração para garantir a confiabilidade da matriz energética Brasileira. O governo federal se viu obrigado a tomar medidas emergenciais para conseguir atravessar a crise, sendo que a mais conhecida foi o racionamento de energia, ocasião em que toda a sociedade foi prejudicada.

“O Programa Prioritário de Termoelétricas (PPT) foi fundamental para superar a crise e ajudar a transformar a matriz elétrica brasileira em hidrotérmica.” OECD. (2001, p. 197).

Marcovitch (2006) cita a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), como uma das ações criadas pelo Governo Federal para a diversificação do conceito das energias renováveis no país, o PROINFA exerceu um importante papel viabilizando a inserção de empreendimentos de fontes renováveis na matriz energética.

A ANEEL (2010) abriu a consulta pública de nº 15/2010 para buscar contribuições a respeito das dificuldades e benefícios da implantação da microgeração e minigeração distribuída.

A ANEEL (2011) abriu a audiência pública 42/2011 com o mesmo objetivo.

A ANEEL (2012) publicou a Resolução Normativa (REN) nº 482 de 17 de abril de 2012, cujo principal objetivo foi diminuir as barreiras para implantação da microgeração e minigeração distribuída utilizando fontes de energia renováveis e cogeração qualificada. A REN 482/2012 teve alguns trechos do seu texto alterado pela REN 687 de 24 de novembro de 2015 e tornou-se um marco na regulação da microgeração e minigeração distribuída.

Houve um avanço significativo da micro e minigeração distribuída nos últimos anos, principalmente após 2015.

A figura 3.1, abaixo, apresenta a evolução da potência instalada desde 2012, evidenciando o forte crescimento em 2016, com aumento de 407% em relação a 2015.

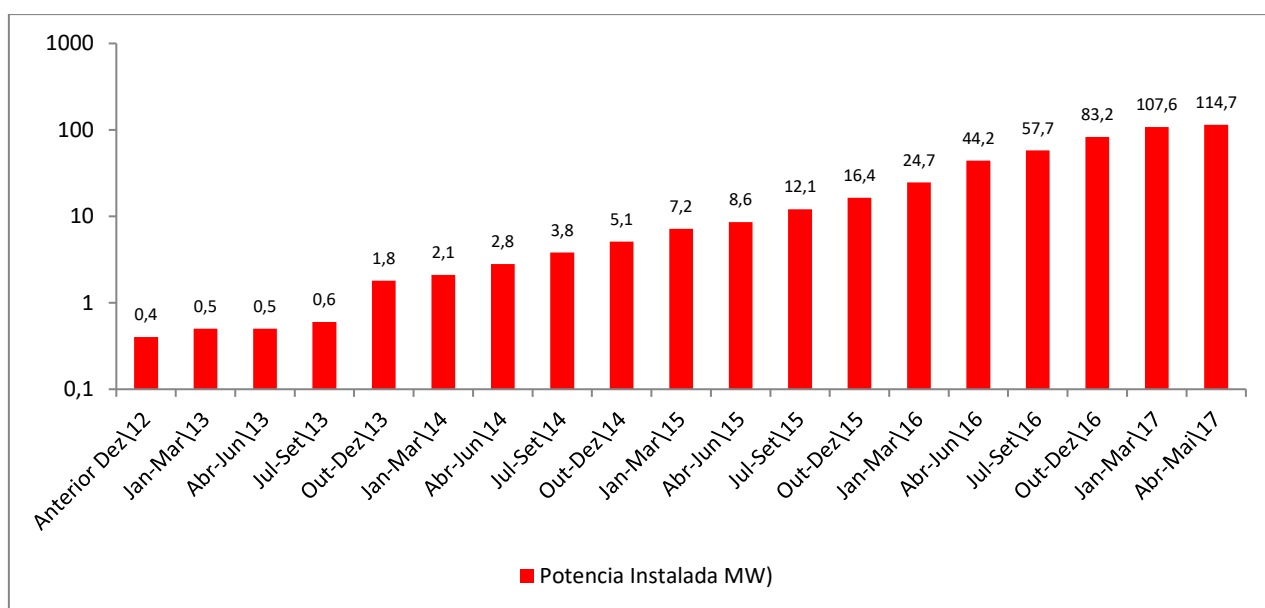


Figura 3.1 - Potência Instalada (MW) até 23/05/2017, adaptado de ANEEL (2017).

A distribuição de micro e minigeradores por Estado é apresentada na figura 3.2, a seguir. A maior concentração de sistemas no Estado de Minas Gerais, seguido por São Paulo.

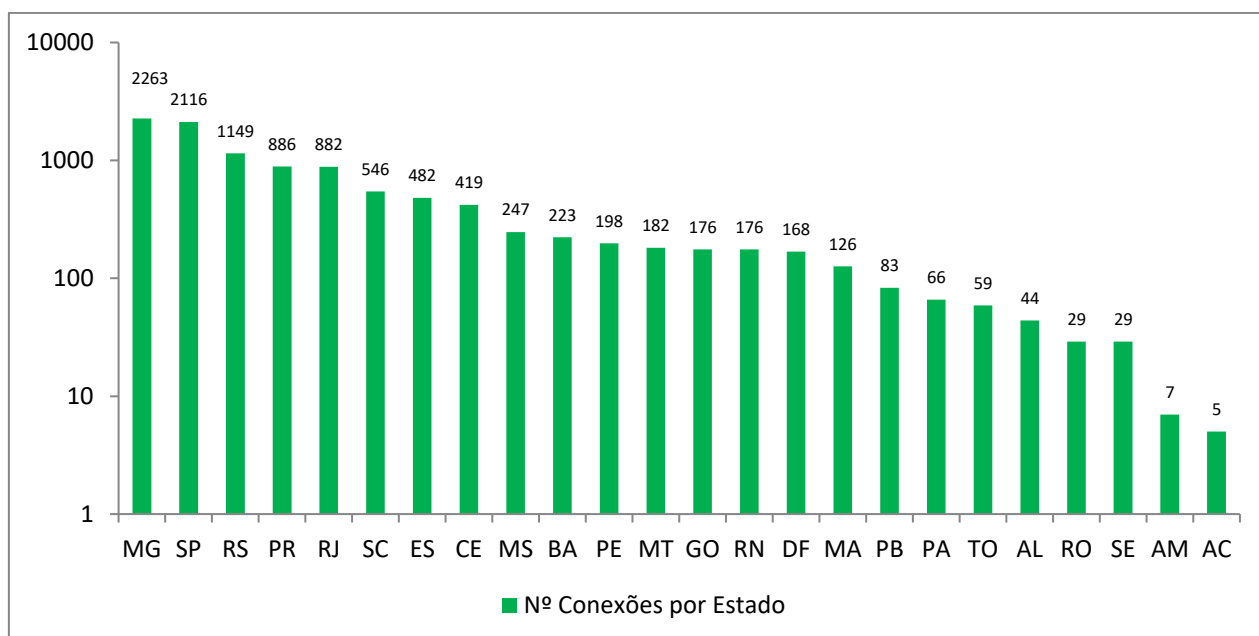


Figura 3.2 - Nº de Conexões por Estado até 23/05/2017, adaptado de ANEEL (2017).

Os incentivos fiscais e o valor da tarifa de baixa tensão contribuíram bastante para tal evolução. O tópico a seguir detalha os principais incentivos.

3.2 Incentivos Fiscais

Diversas ações foram efetuadas pelo governo federal para incentivar o crescimento deste setor, por exemplo, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), desconto do ICMS (convênio CONFAZ 16\15) sobre a energia gerada injetada na rede de distribuição e PIS\COFINS (Lei 13.169\15).

Segundo o Ministério de Minas e energia (MME) (2017), o Proinfa foi criado com o objetivo de aumentar a produção de energia elétrica produzida por fontes de eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). O intuito é diversificar a Matriz Energética Brasileira, buscando fontes alternativas para aumentar a segurança e confiabilidade no abastecimento de energia elétrica e valorizar as características regionais.

Segundo o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) (2015) o Convênio ICMS 16, alterado através da nova redação dada ao caput da cláusula primeira pelo Conv. ICMS 75/16, efeitos a partir de 01.09.16, ficam os Estados do Acre, Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, São Paulo, Sergipe, Tocantins e o Distrito Federal autorizados a conceder isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica ativa injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora proveniente de GD ou em outra unidade consumidora do mesmo titular, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica para microgeração e minigeração distribuída, conforme regulamentação da ANEEL. Ainda sobre o Conv. ICMS 75/16 § 1º O benefício previsto aplica-se somente à compensação de energia elétrica cuja potência instalada seja, respectivamente, menor ou igual a 100 kW e superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW.

De acordo com Brasil (2015) ficam isentas das alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS) incidentes sobre a energia elétrica ativa injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora proveniente de GD ou em outra unidade consumidora do mesmo titular, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica para microgeração e minigeração distribuída, conforme regulamentação da ANEEL.

Em alguns países como Estados Unidos, Canadá e Alemanha, os governos incentivam o desenvolvimento da GD através de políticas públicas para explorar ao máximo o potencial das fontes renováveis, por exemplo: tarifa *feed in*, cotas, *net metering*, subsídios, concessões ou descontos e investimentos públicos.

Na tarifa *Feed In* se firmam contratos de fornecimento de energia de longo prazo entre produtor e concessionária, com base na fonte utilizada são estabelecidos valores subsidiados por políticas públicas.

O sistema de cotas serve para que as concessionárias adquiram energia da GD semelhante aos empreendimentos do PROINFA.

No Brasil usa-se o sistema de compensação de energia elétrica ou em inglês *net metering*.

Segundo Leitão (2017), o setor elétrico precisa investir nas energias limpas, inclusive GD, para depender menos das fontes fósseis para manter equilíbrio no preço das tarifas. O Brasil possui um enorme potencial solar mas precisa de incentivos públicos e uma regulação mais moderna e justa para todos os agentes envolvidos.

Diversos aspectos são passíveis de melhorias, dentre outros, pode-se citar procedimentos regulatórios, a comercialização dos excedentes de energia ativa e os impactos na rede de distribuição.¹

A seguir apresenta-se o cenário atual da GD no Brasil.

3.3 Cenário Atual

Segundo ANEEL (2015) o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de qualquer fonte renovável ou cogeração qualificada e fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua região.

Atualmente as REN 687 (ANEEL, 2015) e REN 786 (ANEEL, 2017) servem de referência para o mercado, elas alteram a REN 482, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. As principais alterações na regulamentação foram as seguintes:

Segundo as novas regras da REN 786, que começaram a valer em 17 de outubro de 2017, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (kW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW

¹ (Informação Verbal) Notas de aulas de Regulação da Geração Distribuída, ministradas pelo Professor Doutor Roberto Castro, em 2016.

e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

§1º Fica vedado o enquadramento como GD das centrais geradoras que já tenham sido objeto de registro, concessão, permissão ou autorização, ou tenham entrado em operação comercial ou tenham tido sua energia elétrica contabilizada no âmbito da CCEE ou comprometida diretamente com concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, devendo a distribuidora identificar esses casos.

§2º A vedação de que trata o §1º não se aplica aos empreendimentos que tenham protocolado a solicitação de acesso, nos termos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST, em data anterior a publicação deste regulamento.”

(ANEEL 2017, p. 1)

Ainda ANEEL (2015), caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um “crédito de energia” que não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses, segundo as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, além disso, a utilização dos créditos pode ser através do “autoconsumo remoto”, isto é, também podem ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora.

A ANEEL (2015) descreve, é importante salientar que para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será pertinente o pagamento referente ao custo de disponibilidade, valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura poderá ser zerada (caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida), sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente.

De acordo com ANEEL (2015), outra novidade é sobre a instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores.

A ANEEL (2015) criou ainda a “geração compartilhada”, permite que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, se instala uma micro

ou minigeração distribuída e utiliza a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

Ainda ANEEL (2015), determinou regras que simplificam os procedimentos básicos para conectar a GD à rede da distribuidora: foram instituídos formulários padrão para a solicitação de acesso do consumidor, o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW foi reduzido de 82 para 34 dias, melhoria na fatura com mais informações, como saldo a expirar e, além disso, os consumidores podem solicitar e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet.

A ANEEL (2015) vedou a divisão de usina grande em pequenas para se enquadrar como GD e pagamento proporcional do valor do aluguel ou do arrendamento se dê em reais por unidade de energia elétrica.

Segundo ANEEL (2015), somente minigeração e geração compartilhada pagam participação financeira pelos reforços no sistema de distribuição que forem necessários para que se faça a conexão;

A tabela 3.1, a seguir, apresenta um resumo das etapas para solicitação de acesso, conforme modulo 3 do PRODIST.

ETAPA	AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO
1 - Solicitação de acesso	(a) Formalização da solicitação de acesso, com o encaminhamento de documentação, dados e informações pertinentes, bem como dos estudos realizados.	Acessante	-
	(b) Recebimento da solicitação de acesso	Distribuidora	-
	(c) Solução de pendências relativas às informações solicitadas na Seção 3.7.	Acessante	-

ETAPA	AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO
2 - Parecer de acesso	(a) Emissão de parecer com a definição das condições de acesso.	Distribuidora	I. Para central geradora classificada como microgeração distribuída quando não houver necessidade de melhoria ou reforço do sistema de distribuição, até 15 (quinze) dias após a ação 1(b) ou 1(c). II. Para central geradora classificada como minigeração distribuída, quando não houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 30 (trinta) dias após a ação 1(b) ou 1(c). III. Para central geradora classificada como microgeração distribuída, quando houver necessidade de execução de obras de melhoria ou reforço no sistema de distribuição, até 30 (trinta) dias após a ação 1(b) ou 1(c). IV. Para central geradora classificada como minigeração distribuída, quando houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 60 (sessenta) dias após a ação 1(b) ou 1(c).
3 - Implantação da conexão	(a) Solicitação de vistoria	Acessante	Até 120 (cento e vinte) dias após a ação 2(a)
	(b) Realização de vistoria	Distribuidora	Até 7 (sete) dias após a ação 3(a)
	(c) Entrega para acessante do Relatório de Vistoria se houver pendências	Distribuidora	Até 5 (cinco) dias após a ação 3(b)
4 - Aprovação do ponto de conexão	(a) Adequação das condicionantes do Relatório de Vistoria.	Acessante	Definido pelo acessante
	(b) Aprovação do ponto de conexão, adequação do sistema de medição e início do sistema de compensação de energia, liberando a microgeração ou minigeração distribuída para sua efetiva conexão	Distribuidora	Até 7 (sete) dias após a ação 3(b), quando não forem encontradas pendências.
5 – Contratos	(a) Acordo Operativo ou Relacionamento Operacional	Acessante e Distribuidora	Acordo operativo até a ação 4 (b), Relacionamento operacional até a ação 2(a)

Tabela 3.1 – Etapas do processo de solicitação de acesso, adaptado de PRODIST 3.7

Como resultado dos incentivos fiscais e das melhorias na regulamentação para fomentar a Geração Distribuída, o cenário atual para este seguimento é de crescimento.

Em Nota Técnica que tratou da atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024 a ANEEL afirmou:

“Após a publicação da REN 482, iniciou-se no país um lento processo de difusão de micro e minigeradores distribuídos, o qual começou a acelerar a partir de 2016”. (ANEEL, 2017, p 2). Mais adiante, em tópico específico serão detalhadas as projeções referidas acima.

3.4 Projeções para o horizonte 2017-2024

Segue abaixo, na figura 3.4, o resultado das projeções para os setores residencial e comercial, indicando que mais de 800.000 unidades consumidoras receberiam crédito, segundo ANEEL (2017).

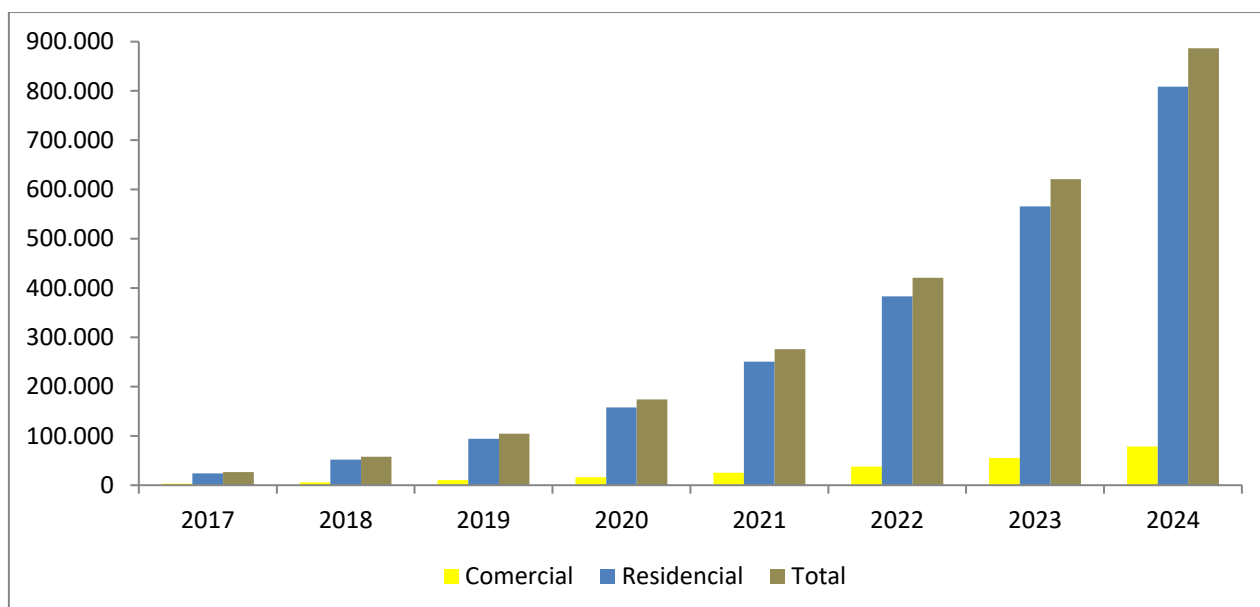


Figura 3.4 - Projeção das Unidades Consumidoras que receberiam créditos, adaptado de ANEEL (2017).

A figura 3.5, a seguir, apresenta as estimativas das potências instaladas por ano para os consumidores residenciais e comerciais, o setor residencial apresenta maior crescimento comparado ao comercial.

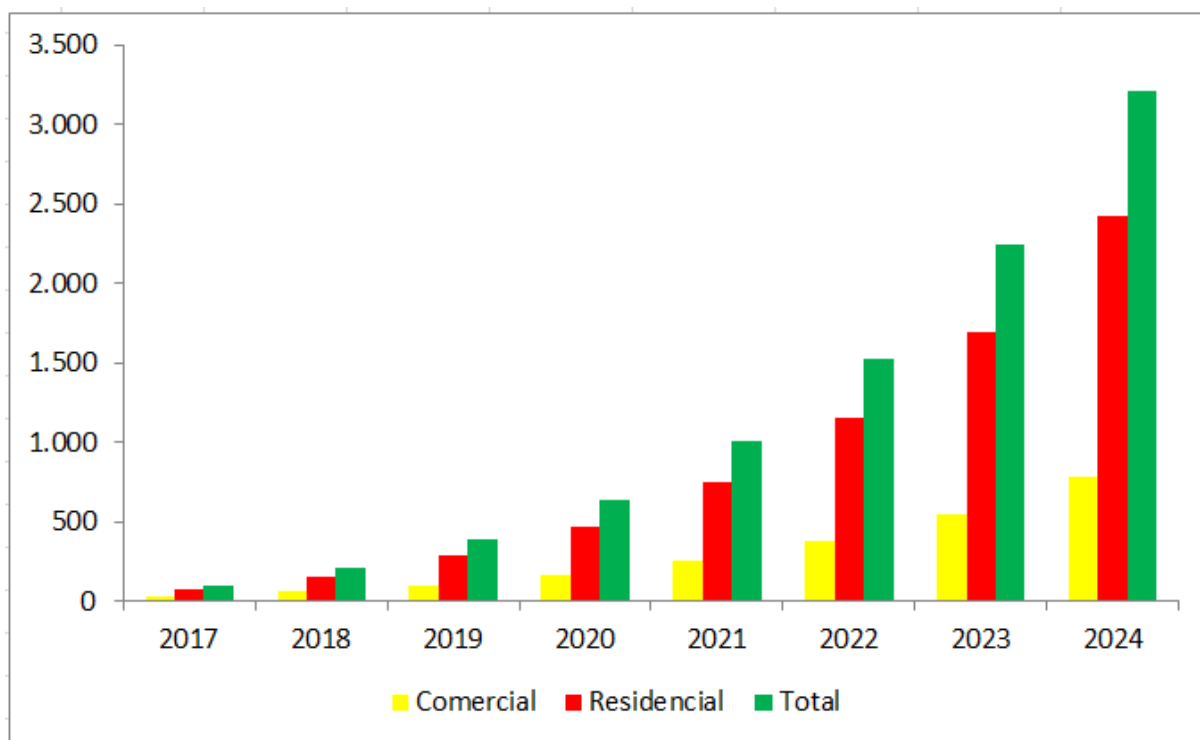


Figura 3.5 - Projeção da potência instalada, adaptado de ANEEL (2017).

A figura 3.6, abaixo, demonstra os resultados das simulações realizadas, o impacto tarifário acumulado médio no país seria de 1,1% em 2024, quando comparado com o ano de 2016. Os maiores impactos acumulados seriam nas distribuidoras Ampla (2,4%) e Cemig (2,6%).

Não há impacto para os clientes, pois a regulação está escrita em cima dos benefícios da GD para os clientes. Obviamente o "impacto" que surgiu para eles é a possibilidade de poder participar do programa de compensação de energia e diminuir os custos com a eletricidade, bem como fomentar um segmento novo de fornecedores e instaladores.

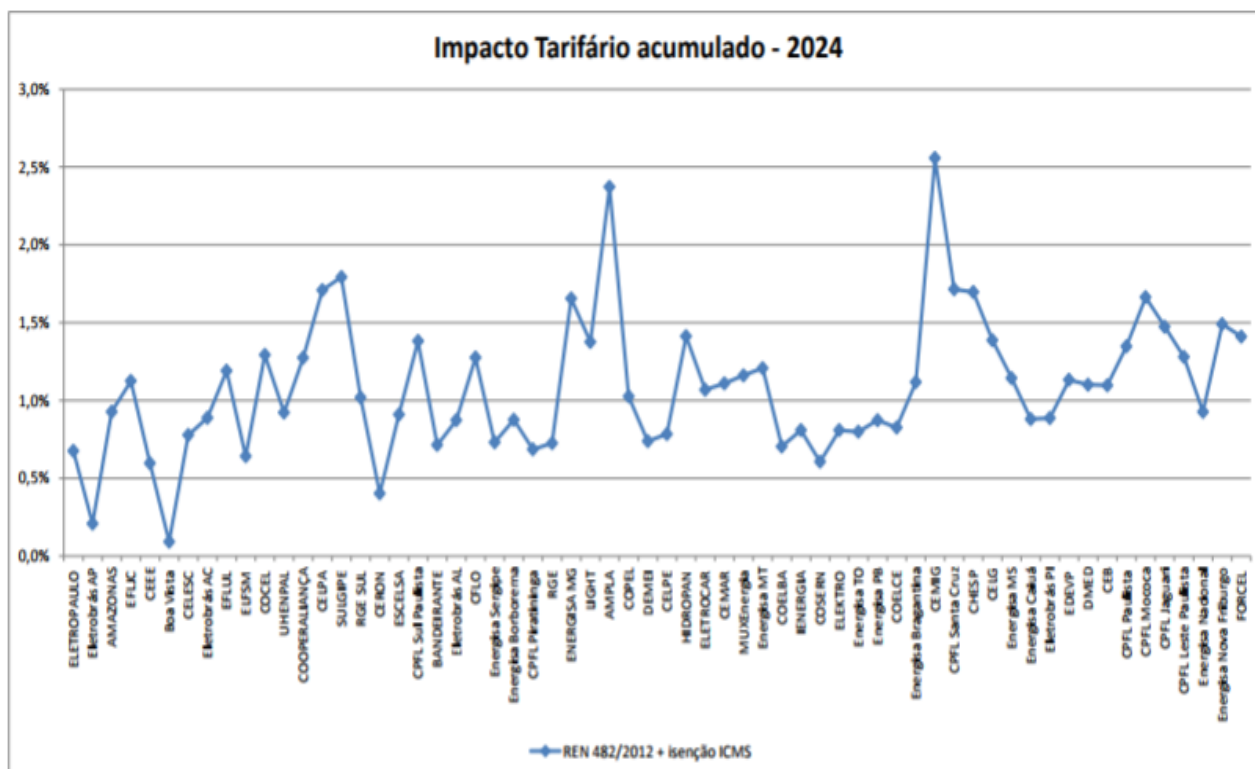


Figura 3.6 - Impacto % acumulado 2017-2024 por distribuidora. Fonte ANEEL

3.5 Quanto é o limite de penetração de GD benéfico na rede de distribuição?

A revisão bibliográfica aponta diversos impactos da penetração de GD na rede de distribuição, porém são encontrados poucos apontamentos sobre quais seriam os limites aceitáveis de penetração de GD nas redes de distribuição de energia elétrica. Segundo Abreu; Oliveira; Guerra (2010), pode-se utilizar, como regra geral, a penetração de 70 % da potência do Transformador de distribuição sem causar problemas para a RDEE.

Ainda não existe consenso para a penetração de GD na rede elétrica, Shayani (2010) e Reis (2015) mencionam que o sistema pode suportar, sem danos, determinada quantidade de GD, contudo, o crescimento acima da suportabilidade implicará na perda da confiabilidade e qualidade da rede elétrica.

A seguir são mencionados os impactos da Geração Distribuída nas RDEE.

3.5.1 Impactos da Geração Distribuída

Quando se imagina geração distribuída nos moldes atuais, próxima à carga, se identifica diversas condições favoráveis tanto técnicas quanto financeiras para os agentes do setor.

Segundo Abreu; Oliveira; Guerra (2010), Shayani (2010) e Reis (2015) a energia excedente gerada através de GD injetada na rede de distribuição pode ocasionar diversos impactos, tanto positivos quanto negativos, por exemplo: interrupção do alimentador, ilhamento não-intencional, desbalanceamento de carga, aumento da tensão e qualidade do fornecimento, alívio do carregamento, redução de perdas técnicas e aumento na confiabilidade.

Os impactos negativos são:

Aumento e regulação da tensão - Segundo Shayani (2010) e Reis (2015) nos horários de Fora Pico (FP) a energia injetada melhorará os níveis de tensão do alimentador, entretanto, durante as férias escolares ou nos horários de baixo consumo a tensão poderá atingir níveis indesejados causando problemas nos equipamentos conectados, por exemplo os transformadores de distribuição, que possuem TAP fixos para regular a transformação da tensão de saída. Além disso, os reguladores de tensão precisam ser específicos para fluxo reverso, ou seja, bidirecional, caso contrário a proteção atuará e bloqueará o regulador para evitar a queima do equipamento.

Ilhamento não-intencional – Ainda segundo Abreu; Oliveira; Guerra (2010) e Shayani (2010) trata-se de uma situação em que determinado trecho, que contenha GD e outras cargas, permaneça energizado após o isolamento do restante da rede. Essa situação expõe risco de vida para os funcionários da concessionária devido ao alimentador permanecer energizado quando todas as fontes deveriam estar desconectadas. Além disso, possibilidade de danos físicos nos equipamentos internos dos consumidores, caso os ocorra variação de tensão e/ou frequência. Por fim, caso ocorram religamentos fora de fase, a atuação dos equipamentos de proteção ocasiona desligamento da rede ou danos nos equipamentos.

De acordo com Abreu; Oliveira; Guerra (2010) e Shayani (2010) como a GD é conectada diretamente na rede de distribuição, existe a preocupação que componentes harmônicos possam ser injetados juntamente com a energia excedente.

Os impactos positivos são:

Aumento da tensão e qualidade do fornecimento - Segundo Shayani (2010) e Reis (2015) nos horários de FP a energia injetada melhorará os níveis de tensão do alimentador, pois a corrente será reduzida e a queda de tensão diminuirá.

De acordo com Shayani (2010) e Reis (2015), causará o alívio do carregamento de alimentadores e transformadores, adiando investimentos em expansão do sistema ou em novas fontes de energia.

Ainda segundo Reis (2015) reduzirá as perdas técnicas, pois a GD localiza-se próxima aos centros de carga por isso não apresentam perdas na Transmissão e as perdas na distribuição de energia são mínimas.

Aumento na confiabilidade – Atualmente o Brasil enfrenta períodos de estiagem em que se faz necessária a redução da produção de energia hidrelétrica para abastecer o consumo humano, fato que torna importante a exploração dos diversos tipos de geração, inclusive GD e nuclear, entende-se que não se pode prever o caos e por isso é imprescindível à ampliação deste segmento para o setor elétrico visando conter à variação das tarifas e também garantir a confiabilidade da melhoria da Matriz energética Brasileira.²

Conforme exposto, pode-se concluir que a GD pode causar benefícios e malefícios à rede de distribuição, portanto, se faz necessário elaborar um estudo do limite de penetração de GD na rede elétrica.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Simulação computacional

Segundo Araújo; Neves (2005) o desempenho de um sistema elétrico é representado por equações diferenciais e devido ao estado de complexidade torna-se praticamente impossível uma solução analítica para essas equações.

Ainda Araújo; Neves (2005) e Cocian (2017) explicam que o uso de modelos matemáticos computacionais podem simular circuitos elétricos, desde que sejam mantidas as características essenciais do circuito físico.

² (Informação Verbal) Notas de aulas de Regulação da Geração Distribuída, ministradas pelo Professor Doutor Roberto Castro, em 2016.

Através da plataforma SinapGrid, pretende-se criar simulação partindo de rede real modelada para a análise dos impactos da inserção de unidades de GD e estabelecer um nível de penetração máximo desses novos agentes, de maneira que garanta a eficiência e segurança da RDEE.

A seguir é descrita a ferramenta computacional utilizada para efetuar as simulações.

4.2 SinapGrid

De acordo com a empresa Sinapsis, desenvolvedora do software SinapGrid, se trata de uma ferramenta para a análise de redes elétricas com mecanismos que possibilitam a aplicação tanto na área de operação, como de planejamento dos sistemas de distribuição e de transmissão de energia elétrica. Sua principal particularidade é a modelagem da rede elétrica que permite a representação integrada de qualquer topologia, abrangendo todas as partes do sistema, tornando-a perfeita para a modelagem e análise de redes inteligentes, onde os pontos de medição, monitoramento, controle, automação e geração estão expostos em qualquer nível de tensão.

Deseja-se através deste trabalho realizar simulações utilizando ferramenta computacional “SinapGrid” para analisar o impacto da injeção da energia excedente de GD nas redes de distribuição, com o cenário atual e com as projeções de crescimento para o futuro da GD segundo dados da ANEEL.

4.3 Limites de Penetração para GD

Abreu; Oliveira; Guerra (2010) e Shayani (2010) citam que vários autores propuseram diversos parâmetros para definir os tipos de penetração e dividiram em 3 grupos, a seguir:

- a) “Fator de penetração como um percentual da:
 - ✓ Capacidade nominal do alimentador;
 - ✓ Capacidade instalada de transformação de uma concessionária;
 - ✓ Potência do parque gerador nacional; ou
 - ✓ Potência de uma subestação.
- b) Fator de penetração como um percentual da demanda máxima:
 - ✓ Da subestação;
 - ✓ Do alimentador; e
 - ✓ Da unidade consumidora.

c) Fator de penetração como um percentual diversos, como um percentual:

- ✓ Da energia gerada pela geração centralizada; ou
- ✓ Da queda de tensão no alimentador.”

(Abreu; Oliveira; Guerra, 2010, p.101)

Ainda Abreu; Oliveira; Guerra (2010) e Shayani (2010) descrevem a pesquisa realizada com 35 distribuidoras europeias sobre os limites de penetração de GD, a qual obtiveram diversas respostas, a seguir.

- ✓ A capacidade do transformador de distribuição é um limitador e pode variar entre 50% e 100% à potência nominal;
- ✓ A capacidade do alimentador é um limitador e pode ser de 50% da capacidade nominal ou a 30% das casas atendidas pelo alimentador, com limite máximo de 1kWp por residência;
- ✓ A variação da tensão na rede é um limitador e pode ser limitado ao valor nominal, ao acréscimo de 2% ou a estabilidade ao invés de um valor absoluto.

A seguir apresentam-se os estudos de caso que se baseiam na capacidade do alimentador.

Nota: Os dados apresentados, a seguir, são de dois alimentadores reais situados na área de concessão da empresa AES Eletropaulo e para preservar os dados, ambos circuitos e a Estação Transformadora de Distribuição (ETD) foram renomeados para Sidval Lima Barros (SLB).

4.4 Estudo de Caso 1

O Estudo de Caso 1 corresponde em simulações de rede na plataforma SinapGrid, conforme figura 4.1 abaixo, a fim de analisar os impactos da inserção de unidades de GD do tipo microgeração fotovoltaica e estabelecer um nível de penetração máximo de maneira benéfica para a RDEE, analisou-se o circuito primário SLB 108 de 13,8kV da ETD SLB, este alimentador tem curva característica comercial, possui 2709 clientes, sendo 51 entradas primárias de média tensão e 116 transformadores de distribuição, corrente nominal de 600A e a corrente máxima de 517A em 2016.

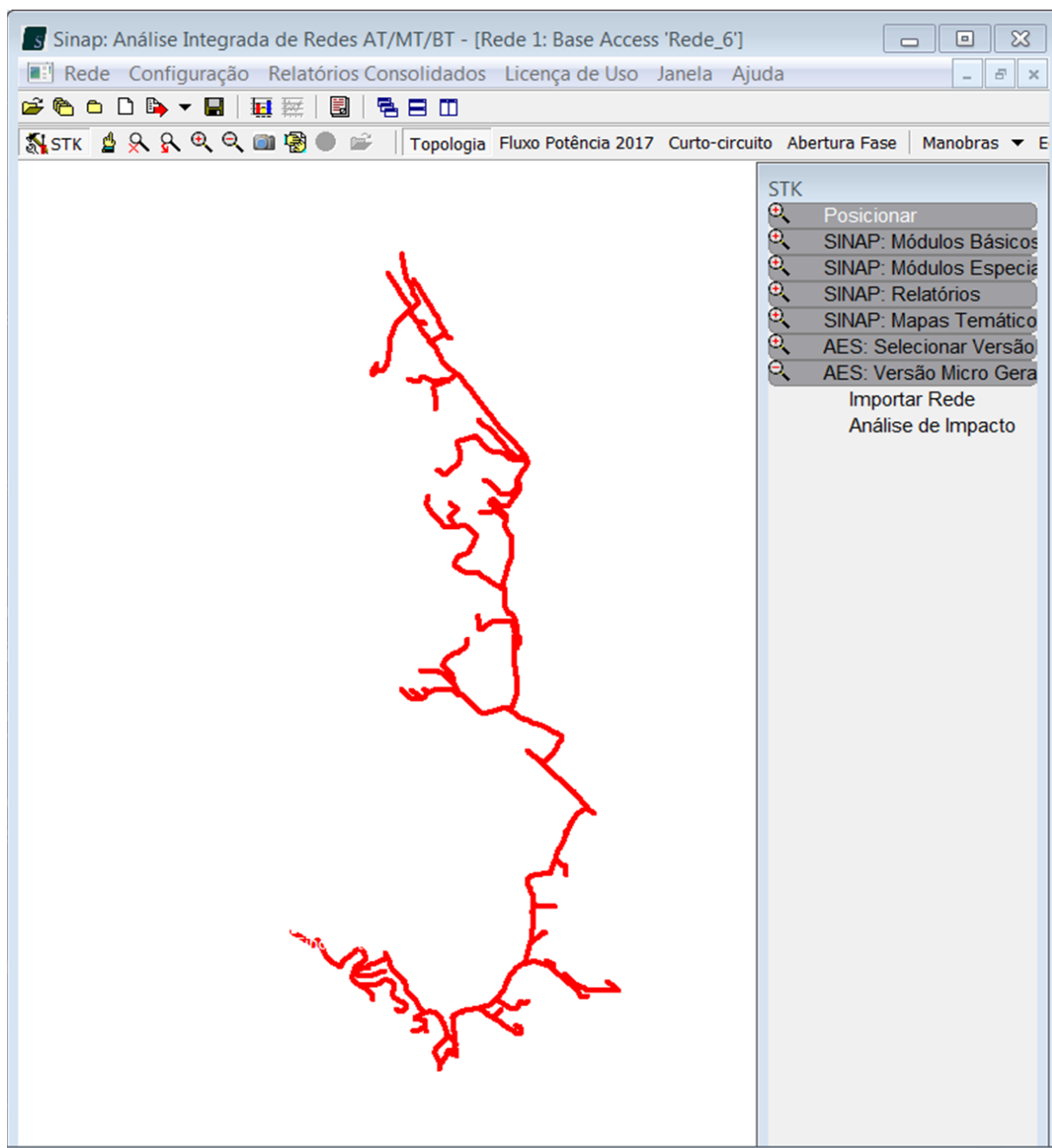


Figura 4.1 - Desenho Unifilar do alimentador SLB-108 – Fonte: SinapGrid.

A seguir são apresentadas as análises de demanda, microgeração, fator de potência, perdas técnicas, carregamentos dos transformadores e tensão.

4.4.1 Análise da demanda

Através da inserção de GD no alimentador a demanda máxima diminui significativamente, conforme figura 4.2 abaixo, o SinapGrid seleciona os maiores clientes para a inserção de 60% de GD, com isso a redução fica em torno de 2MW,

conforme tabela 4.1 a seguir, com este alívio a Concessionária poderia postergar obras de expansão na RDEE.

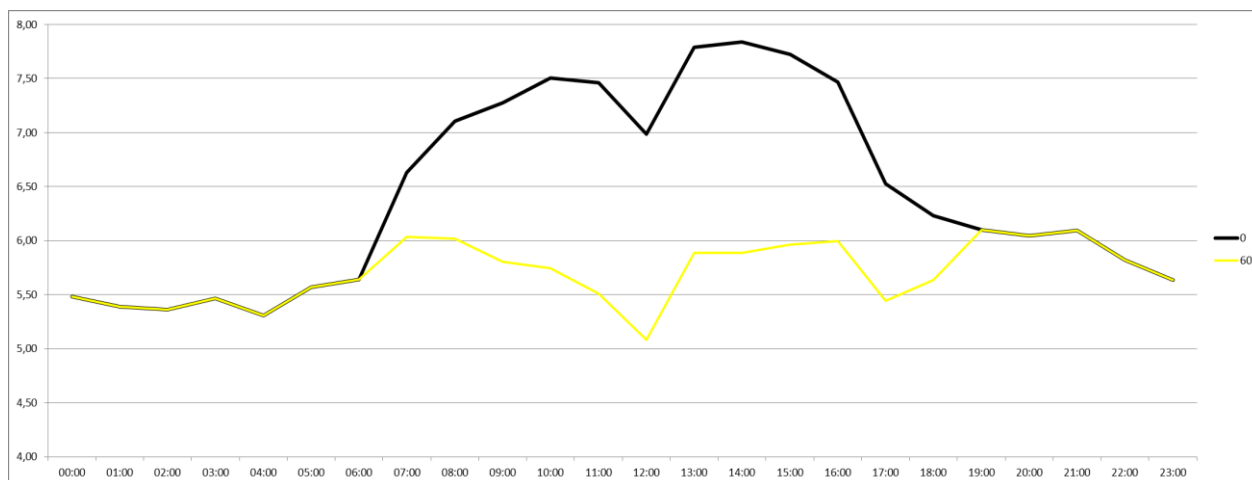


Figura 4.23 - Curva de Carga SLB-108 – Fonte: o autor

	Demanda [MW] SLB 0108												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
00:00	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48
01:00	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39
02:00	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36
03:00	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46
04:00	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31
05:00	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57
06:00	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64
07:00	6,63	6,57	6,52	6,47	6,42	6,37	6,32	6,26	6,21	6,17	6,13	6,08	6,04
08:00	7,10	7,00	6,91	6,81	6,71	6,62	6,53	6,43	6,34	6,25	6,18	6,11	6,02
09:00	7,28	7,13	7,01	6,88	6,75	6,62	6,49	6,37	6,24	6,12	6,02	5,92	5,81
10:00	7,50	7,33	7,18	7,03	6,87	6,72	6,56	6,41	6,27	6,12	6,00	5,88	5,74
11:00	7,46	7,27	7,10	6,93	6,76	6,59	6,42	6,25	6,09	5,93	5,80	5,66	5,51
12:00	6,99	6,80	6,64	6,47	6,30	6,14	5,97	5,81	5,65	5,50	5,37	5,24	5,09
13:00	7,79	7,61	7,44	7,28	7,10	6,94	6,78	6,61	6,45	6,30	6,17	6,04	5,88
14:00	7,84	7,65	7,48	7,31	7,13	6,97	6,80	6,63	6,47	6,31	6,18	6,04	5,89
15:00	7,72	7,55	7,40	7,25	7,09	6,94	6,78	6,63	6,49	6,34	6,22	6,10	5,96
16:00	7,47	7,32	7,20	7,07	6,94	6,82	6,68	6,56	6,43	6,31	6,21	6,11	6,00
17:00	6,53	6,42	6,33	6,24	6,14	6,05	5,95	5,86	5,77	5,68	5,61	5,53	5,45
18:00	6,23	6,17	6,12	6,07	6,02	5,97	5,92	5,86	5,81	5,76	5,72	5,68	5,64
19:00	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10
20:00	6,05	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04
21:00	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09
22:00	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82
23:00	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63

Tabela 4.1: Demanda SLB-108 – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.4.2 Análise da Microgeração

A inserção de GD no alimentador ocorreu de 5% em 5%, conforme figura

4.3 abaixo, com penetração de 60% de GD a geração fica em torno de 2MW, conforme tabela 4.2 a seguir.

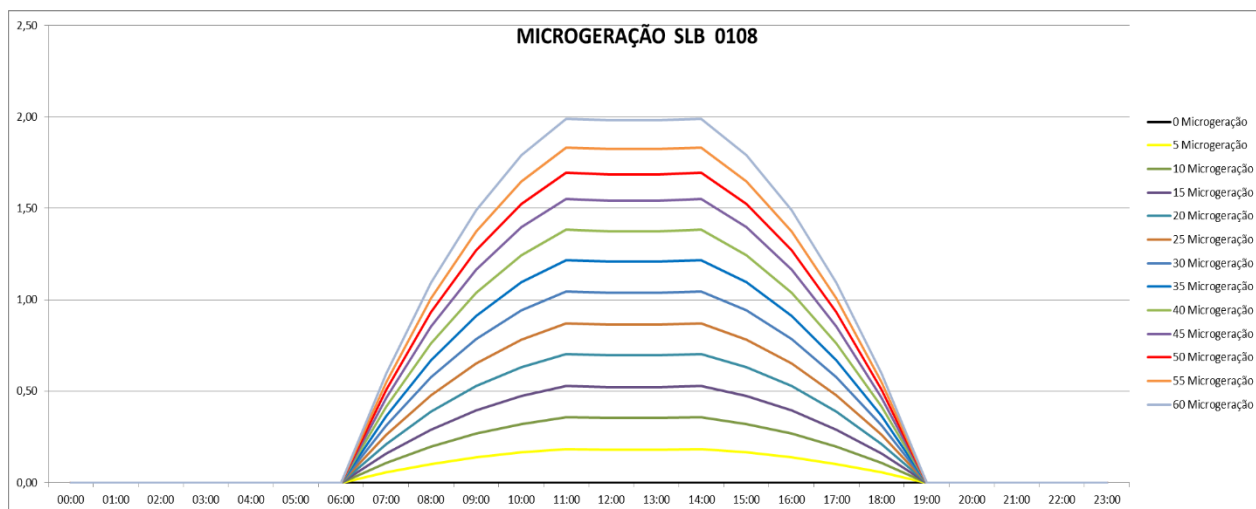


Figura 4.34 - Curva da Microgeração – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

MICROGERAÇÃO SLB 0108													
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:00	0,00	0,05	0,11	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,41	0,47	0,51	0,55	0,60
08:00	0,00	0,10	0,20	0,29	0,39	0,48	0,58	0,67	0,76	0,85	0,93	1,01	1,09
09:00	0,00	0,14	0,27	0,39	0,53	0,65	0,78	0,91	1,04	1,16	1,27	1,37	1,43
10:00	0,00	0,16	0,32	0,47	0,63	0,78	0,94	1,09	1,24	1,40	1,52	1,65	1,79
11:00	0,00	0,18	0,36	0,53	0,70	0,87	1,05	1,22	1,38	1,55	1,69	1,83	1,99
12:00	0,00	0,18	0,35	0,52	0,70	0,86	1,04	1,21	1,37	1,54	1,68	1,82	1,98
13:00	0,00	0,18	0,35	0,52	0,70	0,86	1,04	1,21	1,37	1,54	1,68	1,82	1,98
14:00	0,00	0,18	0,36	0,53	0,70	0,87	1,05	1,22	1,38	1,55	1,69	1,83	1,99
15:00	0,00	0,16	0,32	0,47	0,63	0,78	0,94	1,09	1,24	1,40	1,52	1,65	1,79
16:00	0,00	0,14	0,27	0,39	0,53	0,65	0,78	0,91	1,04	1,16	1,27	1,37	1,43
17:00	0,00	0,10	0,20	0,29	0,39	0,48	0,58	0,67	0,76	0,85	0,93	1,01	1,09
18:00	0,00	0,05	0,11	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,41	0,47	0,51	0,55	0,60
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 4.2: Geração Fotovoltaica – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.4.3 Análise do Fator de Potência

O fator de potência não sofreu grande alteração com a penetração de GD por se tratar de alimentador com cargas comerciais e industriais, conforme figura 4.4 abaixo, o patamar das 12h apresentou a redução de 1% com a penetração de 60%, conforme tabela 4.3 a seguir, acima de 60% apresentou estabilidade.

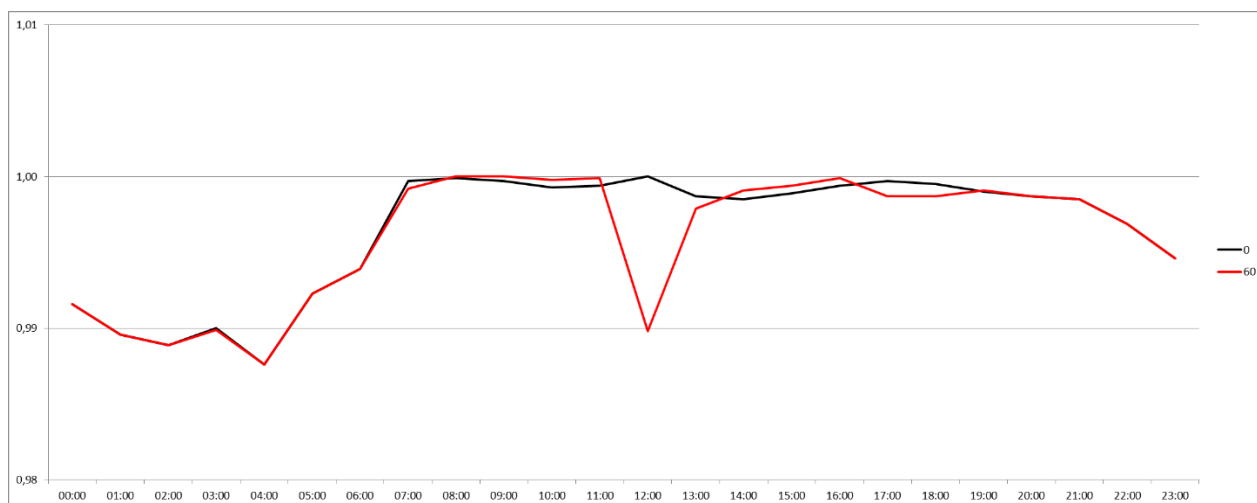


Figura 4.4 - Curva do Fator de Potência – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

	FATOR DE POTÊNCIA SLB 0108												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
00:00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
01:00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
02:00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
03:00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
04:00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
05:00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
06:00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
07:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
08:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
09:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
11:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
12:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99
13:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
17:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
18:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
19:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
22:00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
23:00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela 4.3: Fator de Potência – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.4.4 Análise de Perdas

As perdas técnicas reduziram significativamente, conforme figura 4.5 abaixo, o patamar de 13h reduziu 1,1% com inserção de 50% de penetração de GD, conforme tabela 4.4 a seguir.

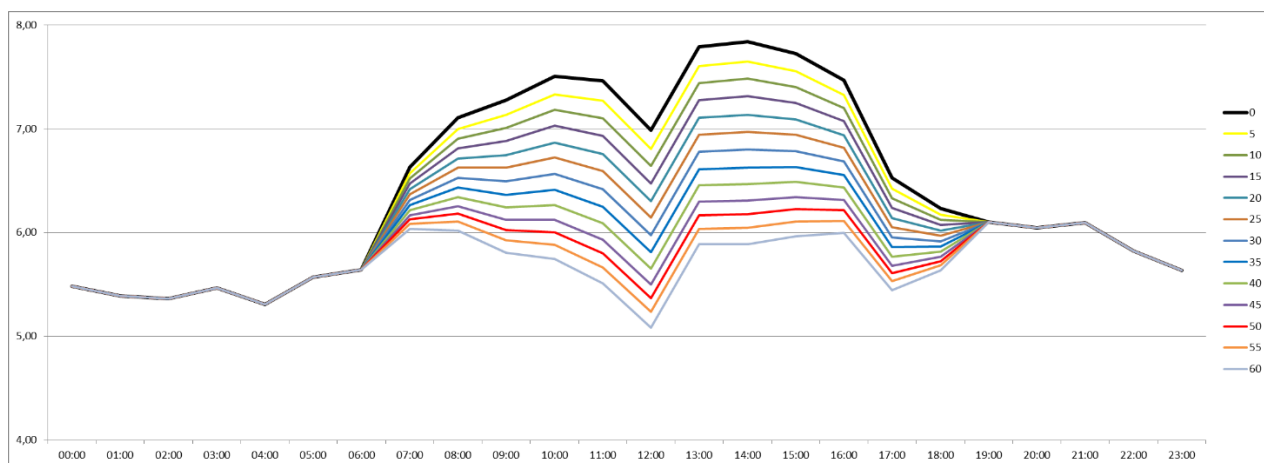


Figura 4.55 - Curva das Perdas Técnicas – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

PERDAS SLB 0108													
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
00:00	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561	0,1561
01:00	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148
02:00	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461	0,1461
03:00	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497	0,1497
04:00	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412	0,1412
05:00	0,1576	0,1576	0,1576	0,1576	0,1577	0,1577	0,1577	0,1577	0,1577	0,1577	0,1577	0,1577	0,1577
06:00	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669
07:00	0,2329	0,2281	0,2244	0,2208	0,2173	0,2136	0,2097	0,2062	0,2028	0,1993	0,1976	0,1952	0,1929
08:00	0,2778	0,269	0,2615	0,2537	0,247	0,2406	0,2335	0,2272	0,2215	0,2168	0,2129	0,2092	0,2052
09:00	0,2924	0,2797	0,2692	0,2591	0,2497	0,2413	0,2331	0,2255	0,2191	0,2137	0,2098	0,2057	0,2011
10:00	0,3067	0,2908	0,2788	0,2663	0,2554	0,2456	0,2363	0,2283	0,2216	0,216	0,2111	0,2073	0,2027
11:00	0,3062	0,2885	0,2755	0,2616	0,2496	0,2396	0,2297	0,2219	0,2146	0,2092	0,205	0,2007	0,1953
12:00	0,2675	0,2496	0,2368	0,2227	0,2112	0,2015	0,1916	0,184	0,177	0,1716	0,1674	0,1641	0,1595
13:00	0,329	0,3098	0,2954	0,2802	0,2672	0,2563	0,2454	0,2363	0,2286	0,2225	0,2174	0,2131	0,2076
14:00	0,3353	0,3171	0,3037	0,2893	0,2772	0,2668	0,2565	0,2485	0,2413	0,2357	0,2312	0,227	0,2218
15:00	0,323	0,3073	0,2946	0,2821	0,2711	0,2616	0,2523	0,2444	0,2373	0,232	0,2275	0,2234	0,2188
16:00	0,3014	0,2885	0,2779	0,2674	0,2583	0,2498	0,2411	0,2338	0,2274	0,2217	0,2175	0,2134	0,2086
17:00	0,2342	0,2254	0,2185	0,2116	0,2047	0,1989	0,1925	0,1863	0,1812	0,1764	0,1731	0,1695	0,1653
18:00	0,2305	0,2259	0,2215	0,2171	0,2133	0,2091	0,2049	0,2004	0,1971	0,1934	0,1907	0,188	0,1852
19:00	0,2214	0,2213	0,2213	0,2213	0,2213	0,2213	0,2213	0,2213	0,2213	0,2213	0,2213	0,2213	0,2213
20:00	0,2137	0,2138	0,2138	0,2138	0,2138	0,2138	0,2138	0,2138	0,2138	0,2138	0,2138	0,2138	0,2138
21:00	0,208	0,208	0,208	0,208	0,2081	0,2081	0,2081	0,2081	0,2081	0,2081	0,2081	0,2081	0,2081
22:00	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913
23:00	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734	0,1734

Tabela 4.4: Perdas Técnicas – Fonte: SinapGrid

4.4.5 Análise do Carregamento dos transformadores

A seguir apresentam-se os resultados da análise dos transformadores com carregamento dentro da faixa admissível.

Com a penetração de GD no alimentador, os transformadores de distribuição demonstraram ganho até 70%, conforme figura 4.6 abaixo, acima de 70% os transformadores apresentam perdas no patamar de 12h, conforme tabela 4.5 a seguir. Este resultado reforça os dados estudados na revisão bibliográfica que sugere penetração de 70% da capacidade do transformador de distribuição.

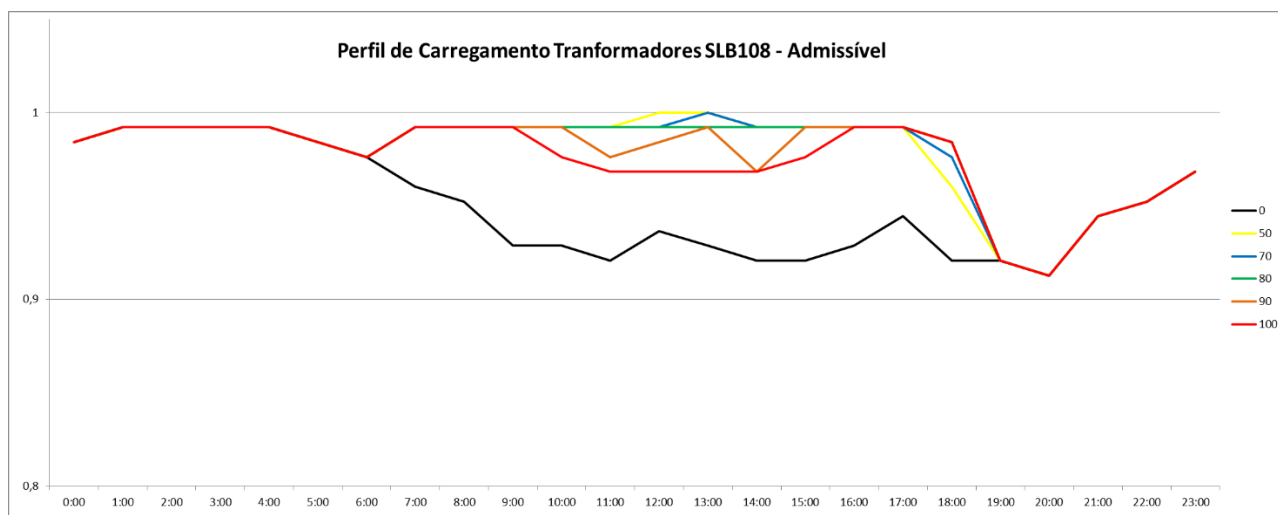


Figura 4.66 - Carregamento dos transformadores – Admissível – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Perfil de Carregamento Transformadores CTL108 - Admissível						
	0	50	70	80	90	100
0:00	0,984126984	0,984126984	0,984126984	0,984126984	0,984126984	0,984126984
1:00	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492
2:00	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492
3:00	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492
4:00	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492
5:00	0,984126984	0,984126984	0,984126984	0,984126984	0,984126984	0,984126984
6:00	0,976190476	0,976190476	0,976190476	0,976190476	0,976190476	0,976190476
7:00	0,96031746	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492
8:00	0,952380952	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492
9:00	0,928571429	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492
10:00	0,928571429	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,976190476
11:00	0,920634921	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,976190476	0,968253968
12:00	0,936507937	1	0,992063492	0,992063492	0,984126984	0,968253968
13:00	0,928571429	1	1	0,992063492	0,992063492	0,968253968
14:00	0,920634921	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,968253968	0,968253968
15:00	0,920634921	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,976190476
16:00	0,928571429	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492
17:00	0,944444444	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492	0,992063492
18:00	0,920634921	0,96031746	0,976190476	0,984126984	0,984126984	0,984126984
19:00	0,920634921	0,920634921	0,920634921	0,920634921	0,920634921	0,920634921
20:00	0,912698413	0,912698413	0,912698413	0,912698413	0,912698413	0,912698413
21:00	0,944444444	0,944444444	0,944444444	0,944444444	0,944444444	0,944444444
22:00	0,952380952	0,952380952	0,952380952	0,952380952	0,952380952	0,952380952
23:00	0,968253968	0,968253968	0,968253968	0,968253968	0,968253968	0,968253968

Tabela 4.5: Carregamento dos transformadores – Admissível – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

A seguir apresentam-se os resultados da análise dos transformadores com carregamento acima da faixa admissível.

Apresenta ganho até 70% de penetração de GD, conforme figura 4.7 abaixo, acima de 70% os transformadores apresentam perdas no patamar de 12h, conforme tabela 4.6 a seguir

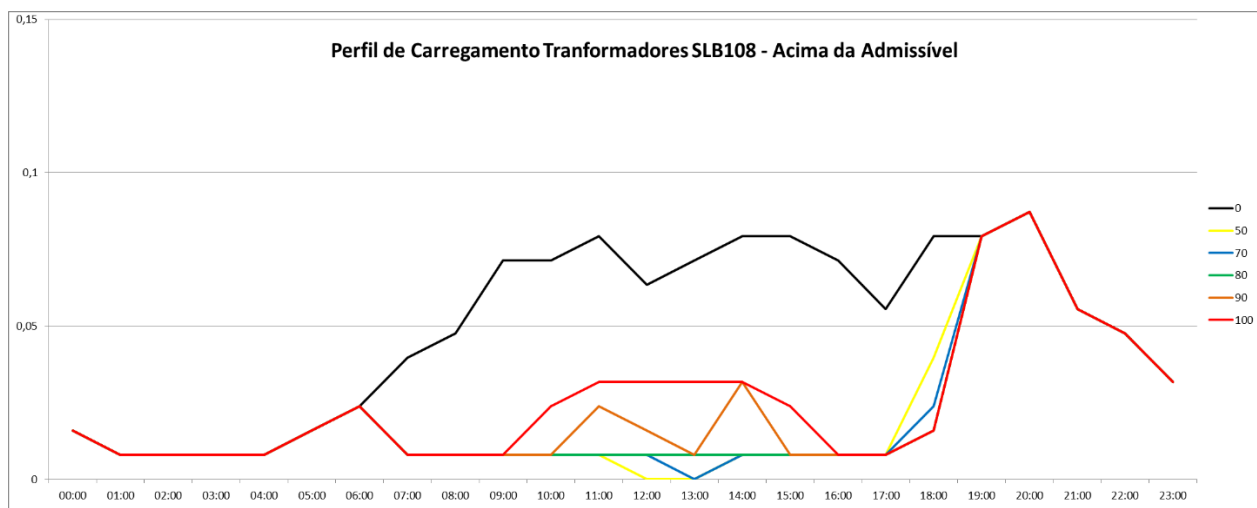


Figura 4.7 - Carregamento dos transformadores – Acima da Admissível. Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Perfil de Carregamento Transformadores CTL108 - Acima da Admissível						
	0	50	70	80	90	100
00:00	0,015873016	0,015873016	0,015873016	0,015873016	0,015873016	0,015873016
01:00	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508
02:00	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508
03:00	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508
04:00	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508
05:00	0,015873016	0,015873016	0,015873016	0,015873016	0,015873016	0,015873016
06:00	0,023809524	0,023809524	0,023809524	0,023809524	0,023809524	0,023809524
07:00	0,03968254	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508
08:00	0,047619048	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508
09:00	0,071428571	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508
10:00	0,071428571	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,023809524
11:00	0,079365079	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,023809524	0,031746032
12:00	0,063492063	0	0,007936508	0,007936508	0,015873016	0,031746032
13:00	0,071428571	0	0	0,007936508	0,007936508	0,031746032
14:00	0,079365079	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,031746032	0,031746032
15:00	0,079365079	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,023809524
16:00	0,071428571	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508
17:00	0,055555556	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508	0,007936508
18:00	0,079365079	0,03968254	0,023809524	0,015873016	0,015873016	0,015873016
19:00	0,079365079	0,079365079	0,079365079	0,079365079	0,079365079	0,079365079
20:00	0,087301587	0,087301587	0,087301587	0,087301587	0,087301587	0,087301587
21:00	0,055555556	0,055555556	0,055555556	0,055555556	0,055555556	0,055555556
22:00	0,047619048	0,047619048	0,047619048	0,047619048	0,047619048	0,047619048
23:00	0,031746032	0,031746032	0,031746032	0,031746032	0,031746032	0,031746032

Tabela 4.6: Carregamento dos Transformadores, Acima da Admissível Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.4.6 Análise da Tensão

A Tensão de distribuição é classificada como adequada, precária e crítica conforme modulo 8 do PRODIST e tabela 4.7, abaixo.

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Tabela 4.7: Faixas de Classificação da Tensão Nominal Superior a 1kV e inferior a 69kV – Fonte: PRODIST, Tabela 3 do Anexo I

A seguir apresentam-se os resultados de tensão dos diversos trechos do alimentador:
Adequada

Segundo o PRODIST são aquelas que estão dentro dos limites de tensão adequada em relação à Tensão de Referência (TR), a figura 4.8 abaixo apresenta ganho até 80% de inserção de GD, acima de 90% apresentam perdas no patamar de 12h, conforme tabela 4.8 a seguir.

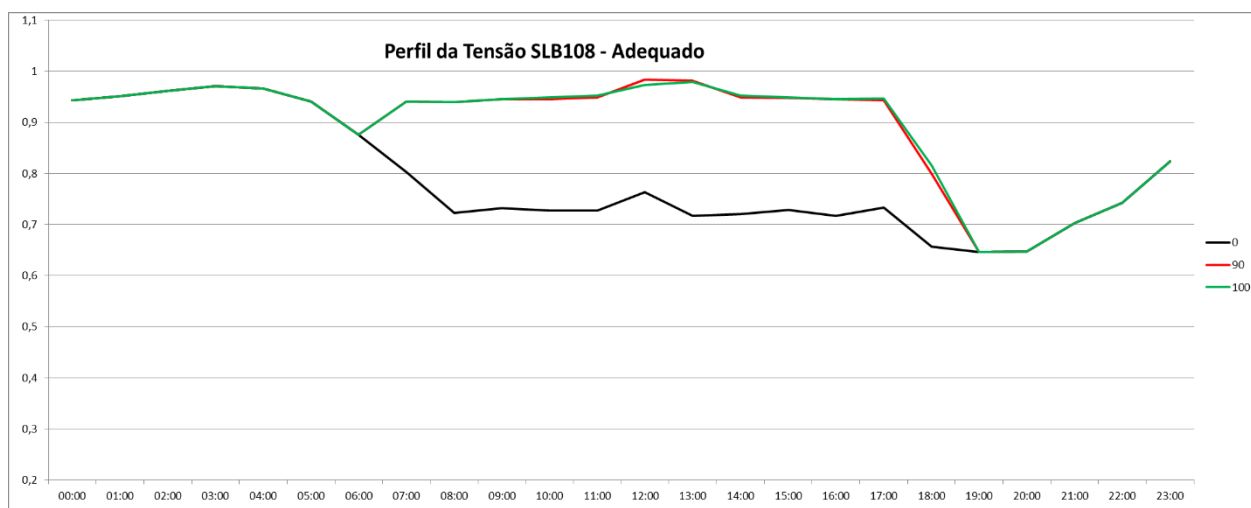


Figura 4.8 - Curva da Tensão, adequada – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Perfil de Tensão SLB108 - Adequado											
	0	10	20	30	40	50	55	60	70	80	100
00:00	0,943062465	0,943062465	0,943062465	0,943062465	0,943062465	0,943062465	0,943062465	0,943062465	0,943062465	0,943062465	0,943062465
01:00	0,950801548	0,950801548	0,950801548	0,950801548	0,950801548	0,950801548	0,950801548	0,950801548	0,950801548	0,950801548	0,950801548
02:00	0,961304588	0,961304588	0,961304588	0,961304588	0,961304588	0,961304588	0,961304588	0,961304588	0,961304588	0,961304588	0,961304588
03:00	0,970702045	0,970702045	0,970702045	0,970702045	0,970702045	0,970702045	0,970702045	0,970702045	0,970702045	0,970702045	0,970702045
04:00	0,965726921	0,965726921	0,965726921	0,965726921	0,965726921	0,965726921	0,965726921	0,965726921	0,965726921	0,965726921	0,965726921
05:00	0,940851299	0,940851299	0,940851299	0,940851299	0,940851299	0,940851299	0,940851299	0,940851299	0,940851299	0,940851299	0,940851299
06:00	0,875621891	0,875621891	0,875621891	0,875621891	0,875621891	0,875621891	0,875621891	0,875621891	0,875621891	0,875621891	0,875621891
07:00	0,803206191	0,824212272	0,844665561	0,863460475	0,887230514	0,899391929	0,910447761	0,915975677	0,923161968	0,927584301	0,940851299
08:00	0,722498618	0,752349364	0,772249862	0,820895522	0,852957435	0,881702598	0,912658928	0,923161968	0,928689884	0,939745716	0,939745716
09:00	0,731896075	0,784964069	0,813709232	0,861249309	0,902155887	0,929795467	0,935876175	0,938640133	0,942509674	0,942509674	0,945826423
10:00	0,727473742	0,787175235	0,823106689	0,87893864	0,926478718	0,939745716	0,940298507	0,941404091	0,945826423	0,945826423	0,949143173
11:00	0,726920951	0,78883361	0,831951354	0,890547264	0,929242676	0,942509674	0,942509674	0,945826423	0,945826423	0,946379215	0,949143173
12:00	0,763405196	0,859590934	0,915975677	0,946379215	0,973466003	0,978441128	0,985074627	0,985074627	0,988944168	0,988944168	0,988944168
13:00	0,717523494	0,799889442	0,891100055	0,932006633	0,970702045	0,973466003	0,973466003	0,974018795	0,980099502	0,980099502	0,980099502
14:00	0,720287452	0,776119403	0,831398563	0,883913765	0,92371476	0,938087341	0,938640133	0,942509674	0,94472084	0,947484798	0,948590381
15:00	0,728579326	0,784964069	0,829187396	0,883360973	0,926478718	0,938640133	0,939192924	0,939745716	0,94472084	0,945826423	0,947484798
16:00	0,716970702	0,770591487	0,811498065	0,856826976	0,895522388	0,939192924	0,939192924	0,939745716	0,941404091	0,945826423	0,945826423
17:00	0,73355445	0,770038695	0,81315644	0,852957435	0,880044223	0,929242676	0,935876175	0,935876175	0,943062465	0,943062465	0,943062465
18:00	0,656716418	0,6644555	0,679933665	0,700386954	0,724709784	0,749032615	0,759535655	0,761746821	0,779436153	0,792150359	0,798783858
19:00	0,646766169	0,646766169	0,646766169	0,646766169	0,646766169	0,646766169	0,646766169	0,646766169	0,646766169	0,646766169	0,646766169
20:00	0,647871752	0,647871752	0,647871752	0,647871752	0,647871752	0,647871752	0,647871752	0,647871752	0,647871752	0,647871752	0,647871752
21:00	0,703150912	0,703150912	0,703150912	0,703150912	0,703150912	0,703150912	0,703150912	0,703150912	0,703150912	0,703150912	0,703150912
22:00	0,742399116	0,742399116	0,742399116	0,742399116	0,742399116	0,742399116	0,742399116	0,742399116	0,742399116	0,742399116	0,742399116
23:00	0,82365948	0,82365948	0,82365948	0,82365948	0,82365948	0,82365948	0,82365948	0,82365948	0,82365948	0,82365948	0,82365948

Tabela 4.8: Tensões, adequado – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Subtensão Precária

São aquelas que estão 0,93xTR abaixo dos limites de tensão adequada em relação à Tensão de Referência, a figura 4.9 abaixo apresenta oscilação de ganho até 80% de inserção de GD devido as tensões que saíram da situação crítica para precária, acima de 80% apresentam perdas nos patamares das 10h às 18h, conforme tabela 4.9 a seguir.

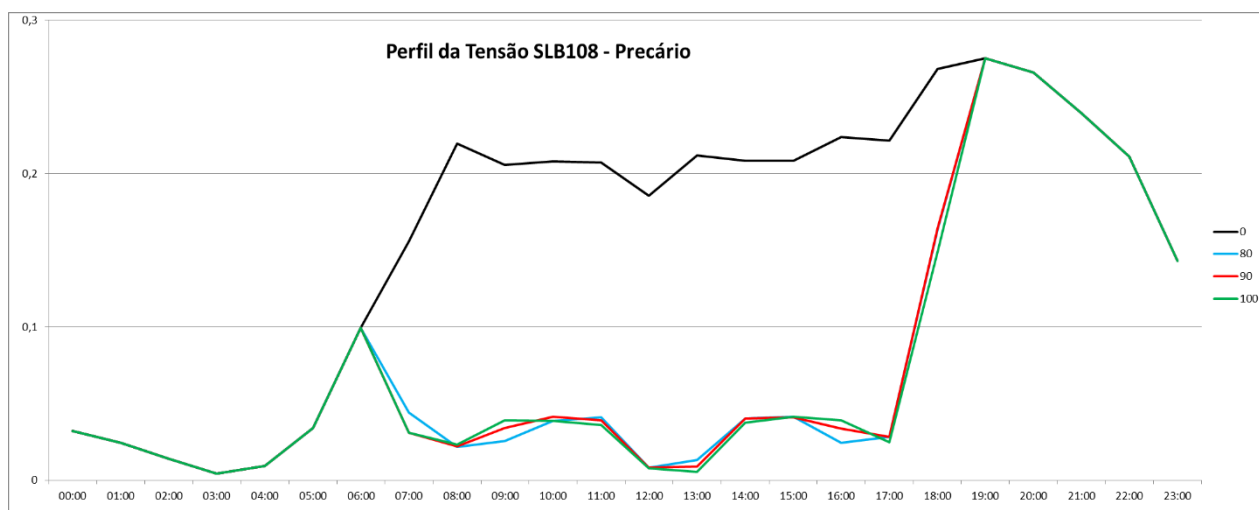


Figura 4.97 - Curva da Tensão, Precária – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Perfil de Tensão SLB108 - Precário												
	0	10	20	30	40	50	55	60	70	80	90	100
00:00	0,032061913	0,032061913	0,032061913	0,032061913	0,032061913	0,032061913	0,032061913	0,032061913	0,032061913	0,032061913	0,032061913	0,032061913
01:00	0,02432283	0,02432283	0,02432283	0,02432283	0,02432283	0,02432283	0,02432283	0,02432283	0,02432283	0,02432283	0,02432283	0,02432283
02:00	0,01381979	0,01381979	0,01381979	0,01381979	0,01381979	0,01381979	0,01381979	0,01381979	0,01381979	0,01381979	0,01381979	0,01381979
03:00	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,004422333
04:00	0,009397457	0,009397457	0,009397457	0,009397457	0,009397457	0,009397457	0,009397457	0,009397457	0,009397457	0,009397457	0,009397457	0,009397457
05:00	0,034273079	0,034273079	0,034273079	0,034273079	0,034273079	0,034273079	0,034273079	0,034273079	0,034273079	0,034273079	0,034273079	0,034273079
06:00	0,099502488	0,099502488	0,099502488	0,099502488	0,099502488	0,099502488	0,099502488	0,099502488	0,099502488	0,099502488	0,099502488	0,099502488
07:00	0,155887231	0,140961857	0,120508568	0,101713654	0,078496407	0,067440575	0,061359867	0,055831951	0,048645661	0,044223328	0,030956329	0,030956329
08:00	0,219458264	0,193477059	0,182421227	0,137092316	0,108347153	0,07960199	0,048645661	0,03814262	0,032614704	0,021558872	0,022111664	0,023217247
09:00	0,205638474	0,165284688	0,144278607	0,09673853	0,058595909	0,030956329	0,024875622	0,022111664	0,019347706	0,025428413	0,034273079	0,039248203
10:00	0,207849641	0,16252073	0,13488115	0,081813156	0,034273079	0,021006081	0,024875622	0,02763958	0,025428413	0,038695412	0,04145937	0,038695412
11:00	0,207296849	0,156992814	0,125483693	0,070204533	0,031509121	0,018794914	0,02763958	0,024875622	0,028192371	0,040906578	0,039248203	0,035931454
12:00	0,185737977	0,101713654	0,046987286	0,023770039	0,021558872	0,016583748	0,01050304	0,01050304	0,006633499	0,008291874	0,008291874	0,007739082
13:00	0,211719182	0,152017689	0,069651741	0,035378662	0,021558872	0,018794914	0,018794914	0,018242123	0,012161415	0,013266998	0,008844666	0,005527916
14:00	0,208402432	0,169154229	0,120508568	0,071862908	0,036484245	0,025981205	0,032061913	0,030403538	0,039800995	0,040353787	0,040353787	0,037589829
15:00	0,208402432	0,163073521	0,124378109	0,076838032	0,034273079	0,022111664	0,030956329	0,030403538	0,028192371	0,04145937	0,040906578	0,04145937
16:00	0,223880597	0,181868436	0,145936982	0,10392482	0,065229409	0,021558872	0,021558872	0,021558872	0,025981205	0,02432283	0,033720287	0,039248203
17:00	0,221669431	0,19016031	0,147042565	0,110005528	0,08291874	0,033720287	0,028745163	0,028745163	0,02763958	0,028192371	0,028192371	0,024875622
18:00	0,268103925	0,271420674	0,260364842	0,24212272	0,219458264	0,200110558	0,190713101	0,191265893	0,175787728	0,163626313	0,164179104	0,14870094
19:00	0,275290216	0,275290216	0,275290216	0,275290216	0,275290216	0,275290216	0,275290216	0,275290216	0,275290216	0,275290216	0,275290216	0,275290216
20:00	0,265892758	0,265892758	0,265892758	0,265892758	0,265892758	0,265892758	0,265892758	0,265892758	0,265892758	0,265892758	0,265892758	0,265892758
21:00	0,239358762	0,239358762	0,239358762	0,239358762	0,239358762	0,239358762	0,239358762	0,239358762	0,239358762	0,239358762	0,239358762	0,239358762
22:00	0,21116639	0,21116639	0,21116639	0,21116639	0,21116639	0,21116639	0,21116639	0,21116639	0,21116639	0,21116639	0,21116639	0,21116639
23:00	0,143173024	0,143173024	0,143173024	0,143173024	0,143173024	0,143173024	0,143173024	0,143173024	0,143173024	0,143173024	0,143173024	0,143173024

Tabela 4.9: Tensões, precário – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Subtensão Crítica

São aquelas que estão abaixo dos limites de tensão precária em relação à TR, a figura 4.10 abaixo apresenta ganho significativo até 80%, acima de 80% apresentam estabilidade nos patamares das 10h, 11h, 12h e 17h, conforme tabela 4.10 a seguir.

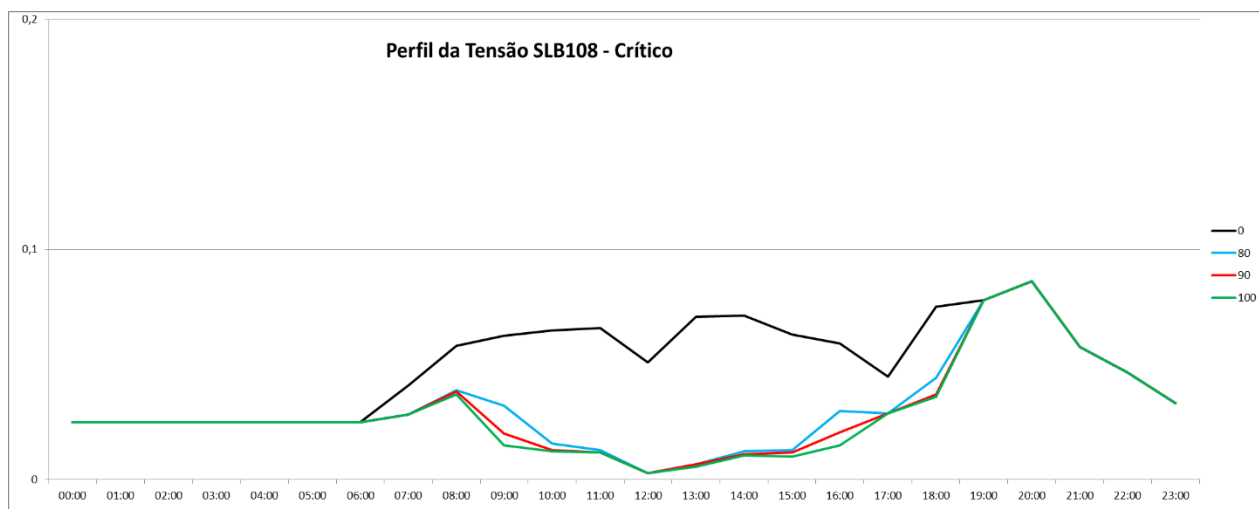


Figura 4.10 - Curva da Tensão, crítica – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Perfil de Tensão SLB108 - Crítico												
	0	10	20	30	40	50	55	60	70	80	90	100
00:00	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622
01:00	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622
02:00	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622
03:00	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622
04:00	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622
05:00	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622
06:00	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622	0,024875622
07:00	0,040906578	0,034825871	0,034825871	0,034825871	0,034273079	0,033167496	0,028192371	0,028192371	0,028192371	0,028192371	0,028192371	0,028192371
08:00	0,058043118	0,054173577	0,045328911	0,042012161	0,038695412	0,038695412	0,038695412	0,038695412	0,038695412	0,038695412	0,03814262	0,037037037
09:00	0,062465451	0,049751244	0,042012161	0,042012161	0,039248203	0,039248203	0,039248203	0,039248203	0,03814262	0,032061913	0,019900498	0,014925373
10:00	0,064676617	0,050304035	0,042012161	0,039248203	0,039248203	0,039248203	0,034825871	0,030956329	0,028745163	0,015478165	0,012714207	0,012161415
11:00	0,0657822	0,054173577	0,042564953	0,039248203	0,039248203	0,038695412	0,029850746	0,029297955	0,025981205	0,012714207	0,011608624	0,011608624
12:00	0,050856827	0,038695412	0,037037037	0,029850746	0,004975124	0,004975124	0,004422333	0,004422333	0,004422333	0,002763958	0,002763958	0,002763958
13:00	0,070757324	0,048092869	0,039248203	0,032614704	0,007739082	0,007739082	0,007739082	0,007739082	0,006633499	0,006633499	0,005527916	0,005527916
14:00	0,071310116	0,054726368	0,048092869	0,044223328	0,039800995	0,035931454	0,029297955	0,027086788	0,015478165	0,012161415	0,011055832	0,01050304
15:00	0,063018242	0,05196241	0,046434494	0,039800995	0,039248203	0,039248203	0,029850746	0,029850746	0,027086788	0,012714207	0,011608624	0,009950249
16:00	0,059148701	0,047540077	0,042564953	0,039248203	0,039248203	0,039248203	0,039248203	0,038695412	0,032614704	0,029850746	0,020453289	0,014925373
17:00	0,044776119	0,039800995	0,039800995	0,037037037	0,037037037	0,037037037	0,035378662	0,035378662	0,029297955	0,028745163	0,028745163	0,028745163
18:00	0,075179657	0,064123825	0,059701493	0,057490326	0,055831951	0,050856827	0,049751244	0,046987286	0,044776119	0,044223328	0,037037037	0,035931454
19:00	0,077943615	0,077943615	0,077943615	0,077943615	0,077943615	0,077943615	0,077943615	0,077943615	0,077943615	0,077943615	0,077943615	0,077943615
20:00	0,086235489	0,086235489	0,086235489	0,086235489	0,086235489	0,086235489	0,086235489	0,086235489	0,086235489	0,086235489	0,086235489	0,086235489
21:00	0,057490326	0,057490326	0,057490326	0,057490326	0,057490326	0,057490326	0,057490326	0,057490326	0,057490326	0,057490326	0,057490326	0,057490326
22:00	0,046434494	0,046434494	0,046434494	0,046434494	0,046434494	0,046434494	0,046434494	0,046434494	0,046434494	0,046434494	0,046434494	0,046434494
23:00	0,033167496	0,033167496	0,033167496	0,033167496	0,033167496	0,033167496	0,033167496	0,033167496	0,033167496	0,033167496	0,033167496	0,033167496

Tabela 4.10: Tensões, crítica – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Sobretensão Precária

São aquelas que estão 0,90xTR acima dos limites de tensão adequada em relação à TR, a figura 4.11 abaixo apresenta sobretensões acima de 90% de inserção de GD nos patamares das 12h e 13h, conforme tabela 4.11 a seguir.

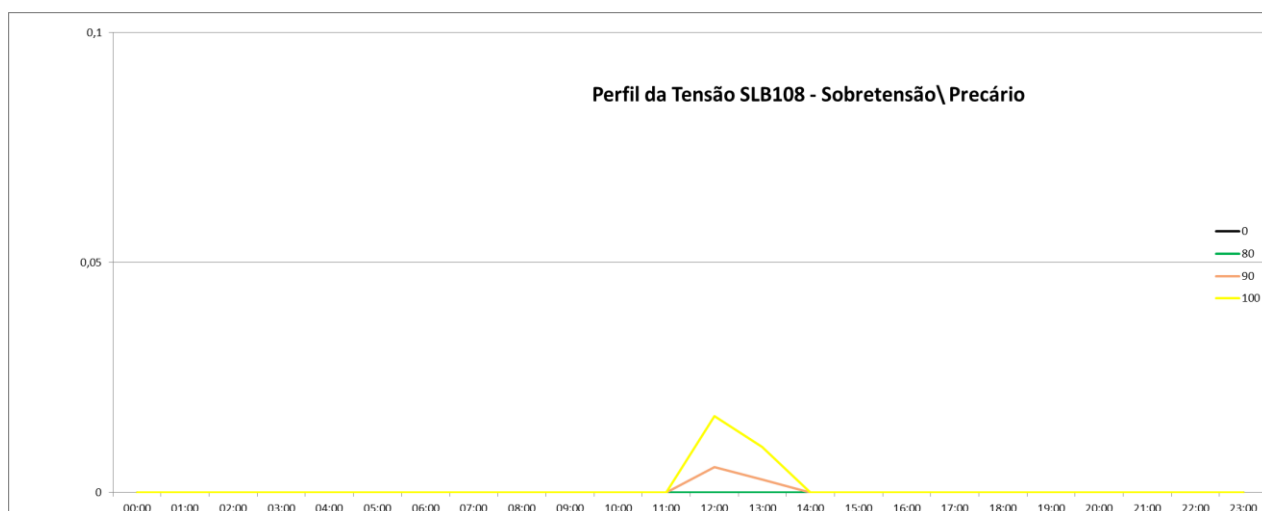


Figura 4.11 - Curva da Tensão, sobretensão \ Precária – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

	Perfil de Tensão SLB108 - Sobretensão \ Precário					
	0	60	70	80	90	100
00:00	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0	0	0
08:00	0	0	0	0	0	0
09:00	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0,005527916	0,016583748
13:00	0	0	0	0	0,002763958	0,009950249
14:00	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0
16:00	0	0	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0

Tabela 4.11: Tensões, sobretensão \ Precária – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.5 Estudo de Caso 2

Corresponde em simulações de rede na plataforma SinapGrid, conforme figura 4.12 abaixo, a fim de analisar os impactos da inserção de unidades de GD do tipo microgeração fotovoltaica e estabelecer um nível de penetração máximo de maneira benéfica para a RDEE, analisou-se o circuito primário SLB 102 de 13,8kV da ETD SLB, este alimentador possui curva característica residencial, atende 12266 clientes, sendo 6 entradas primárias de média tensão e 140 transformadores de distribuição, corrente nominal de 600A e a corrente máxima de 580A em 2016.

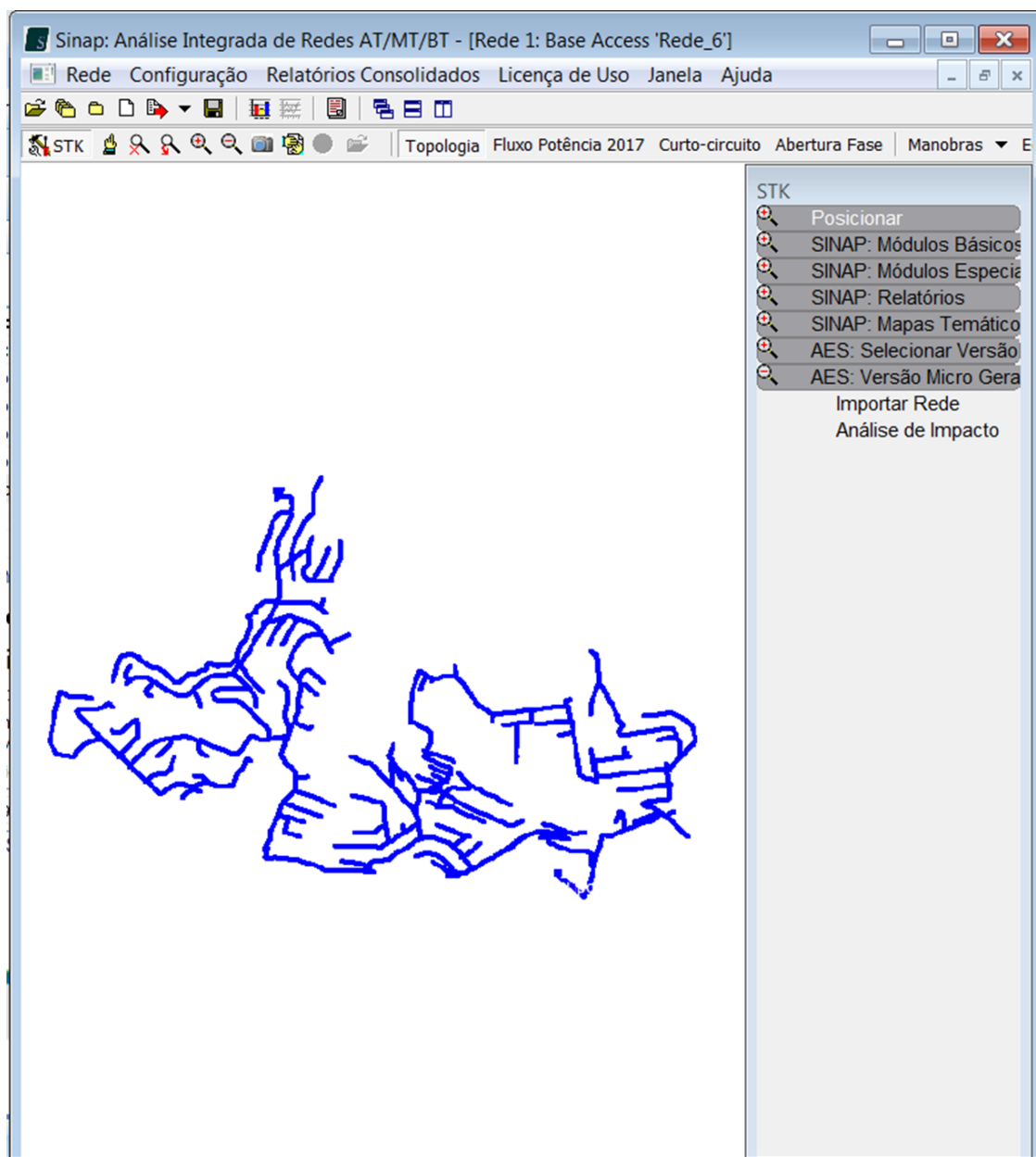


Figura 4.12 - Desenho Unifilar do alimentador SLB-102 – Fonte: SinapGrid.

A seguir são apresentadas as análises de demanda, microgeração, fator de potência, perdas técnicas, carregamentos dos transformadores e tensão.

4.5.1 Análise da demanda

Através da inserção de GD no alimentador a demanda diminui significativamente, conforme figura 4.13 abaixo, o SinapGrid seleciona os maiores clientes para a inserção de 45% de GD, com isso a redução fica em torno de 6,8MW, conforme tabela 4.12 a seguir, acima de 45% a energia gerada ultrapassa a demanda do circuito, neste caso o excedente será injetado na ETD e nos demais alimentadores, neste caso o relé

de proteção do circuito alimentador precisará ser readequado com a função direcional de corrente, para identificar a corrente reversa e atuar, caso seja necessário.

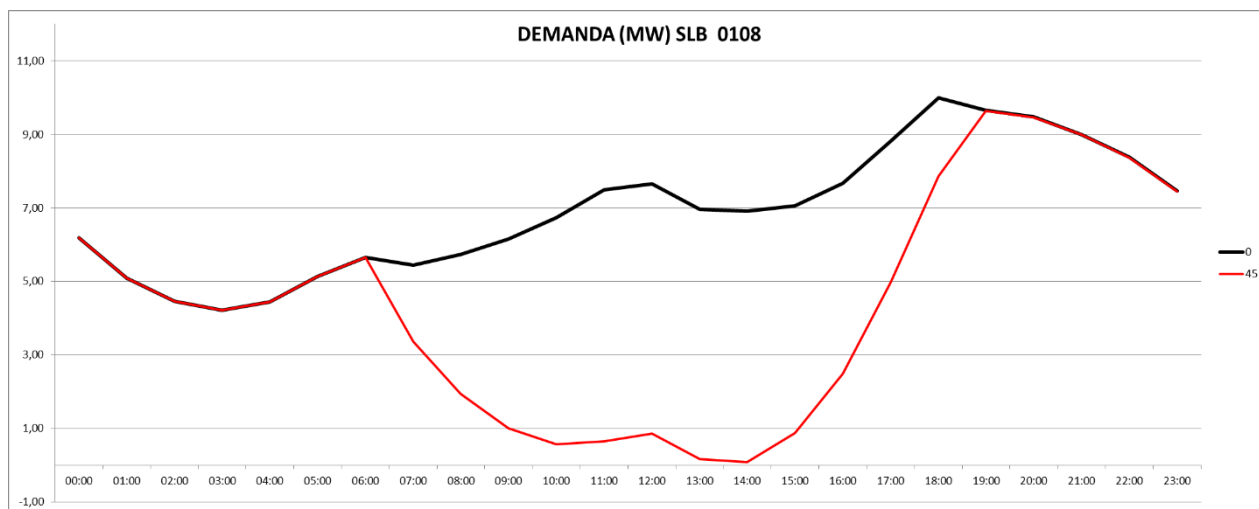


Figura 4.13 - Curva de Carga SLB-102 – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

	Demanda [MW] SLB 0108													
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
00:00	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	
01:00	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	
02:00	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	5,36	
03:00	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	
04:00	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	
05:00	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	
06:00	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	
07:00	6,63	6,57	6,52	6,47	6,42	6,37	6,32	6,26	6,21	6,17	6,13	6,08	6,04	
08:00	7,10	7,00	6,91	6,81	6,71	6,62	6,53	6,43	6,34	6,25	6,18	6,11	6,02	
09:00	7,28	7,13	7,01	6,88	6,75	6,62	6,49	6,37	6,24	6,12	6,02	5,92	5,81	
10:00	7,50	7,33	7,18	7,03	6,87	6,72	6,56	6,41	6,27	6,12	6,00	5,88	5,74	
11:00	7,46	7,27	7,10	6,93	6,76	6,59	6,42	6,25	6,09	5,93	5,80	5,66	5,51	
12:00	6,99	6,80	6,64	6,47	6,30	6,14	5,97	5,81	5,65	5,50	5,37	5,24	5,09	
13:00	7,79	7,61	7,44	7,28	7,10	6,94	6,78	6,61	6,45	6,30	6,17	6,04	5,88	
14:00	7,84	7,65	7,48	7,31	7,13	6,97	6,80	6,63	6,47	6,31	6,18	6,04	5,89	
15:00	7,72	7,55	7,40	7,25	7,09	6,94	6,78	6,63	6,49	6,34	6,22	6,10	5,96	
16:00	7,47	7,32	7,20	7,07	6,94	6,82	6,68	6,56	6,43	6,31	6,21	6,11	6,00	
17:00	6,53	6,42	6,33	6,24	6,14	6,05	5,95	5,86	5,77	5,68	5,61	5,53	5,45	
18:00	6,23	6,17	6,12	6,07	6,02	5,97	5,92	5,86	5,81	5,76	5,72	5,68	5,64	
19:00	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	
20:00	6,05	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	
21:00	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	
22:00	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	
23:00	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63	

Tabela 4.12: Demanda SLB-102 – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.5.2 Análise da microgeração

A inserção de GD no alimentador ocorreu de 5% em 5%, conforme figura 4.14 abaixo, com penetração de 50% de GD a geração fica em torno de 8,7MW, conforme tabela 4.13 a seguir. Produz mais energia em comparação com o estudo de caso 1, devido ao maior número de clientes de BT, os quais são os agentes geradores de microgeração.

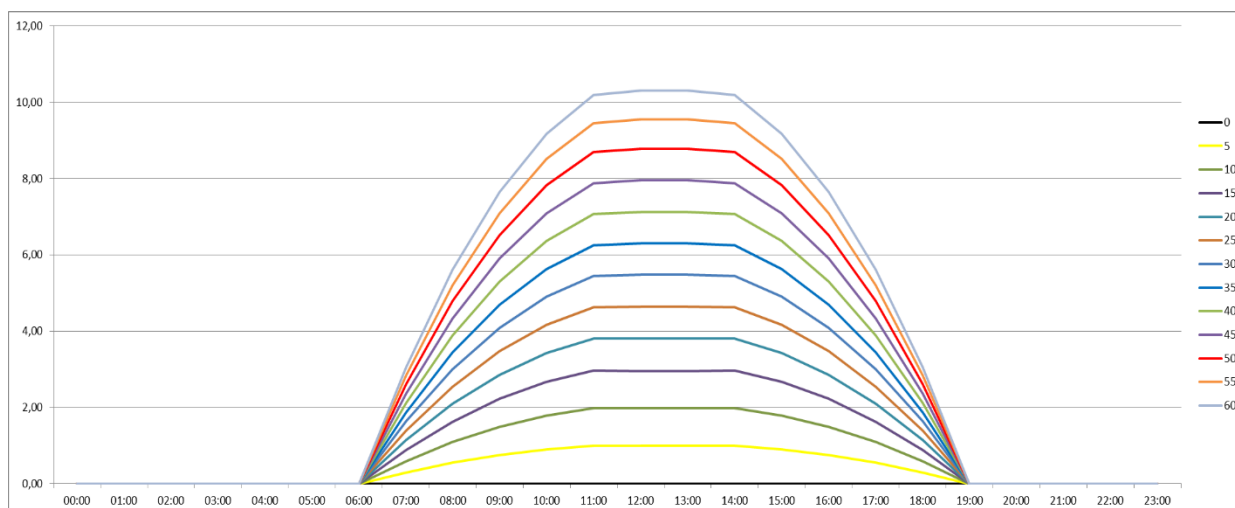


Figura 4.14 - Curva da Microgeração – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

MICROGERAÇÃO SLB 0102													
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:00	0,00	0,30	0,59	0,89	1,14	1,39	1,63	1,88	2,12	2,36	2,61	2,84	3,05
08:00	0,00	0,55	1,09	1,63	2,09	2,55	3,00	3,44	3,89	4,34	4,78	5,20	5,61
09:00	0,00	0,75	1,49	2,22	2,85	3,47	4,08	4,69	5,30	5,91	6,52	7,09	7,64
10:00	0,00	0,89	1,78	2,67	3,42	4,17	4,90	5,63	6,36	7,09	7,83	8,51	9,17
11:00	0,00	0,99	1,98	2,96	3,80	4,63	5,45	6,26	7,07	7,88	8,70	9,46	10,19
12:00	0,00	0,99	1,98	2,95	3,81	4,65	5,48	6,30	7,13	7,95	8,78	9,56	10,31
13:00	0,00	0,99	1,98	2,95	3,81	4,65	5,48	6,30	7,13	7,95	8,78	9,56	10,31
14:00	0,00	0,99	1,98	2,96	3,80	4,63	5,45	6,26	7,07	7,88	8,70	9,46	10,19
15:00	0,00	0,89	1,78	2,67	3,42	4,17	4,90	5,63	6,36	7,09	7,83	8,51	9,17
16:00	0,00	0,75	1,49	2,22	2,85	3,47	4,08	4,69	5,30	5,91	6,52	7,09	7,64
17:00	0,00	0,55	1,09	1,63	2,09	2,55	3,00	3,44	3,89	4,34	4,78	5,20	5,61
18:00	0,00	0,30	0,59	0,89	1,14	1,39	1,63	1,88	2,12	2,36	2,61	2,84	3,05
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 4.13: Geração Fotovoltaica – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.5.3 Análise do Fator de Potência

O fator de potência sofreu grande alteração com a penetração de GD por se tratar de alimentador com cargas residenciais, o qual é um fator limitador para este estudo de caso 2, conforme figura 4.15 abaixo, os patamares das 11h e 14h apresentaram a alteração 24% com a inserção de 25% de GD, conforme tabela 4.14 a seguir.

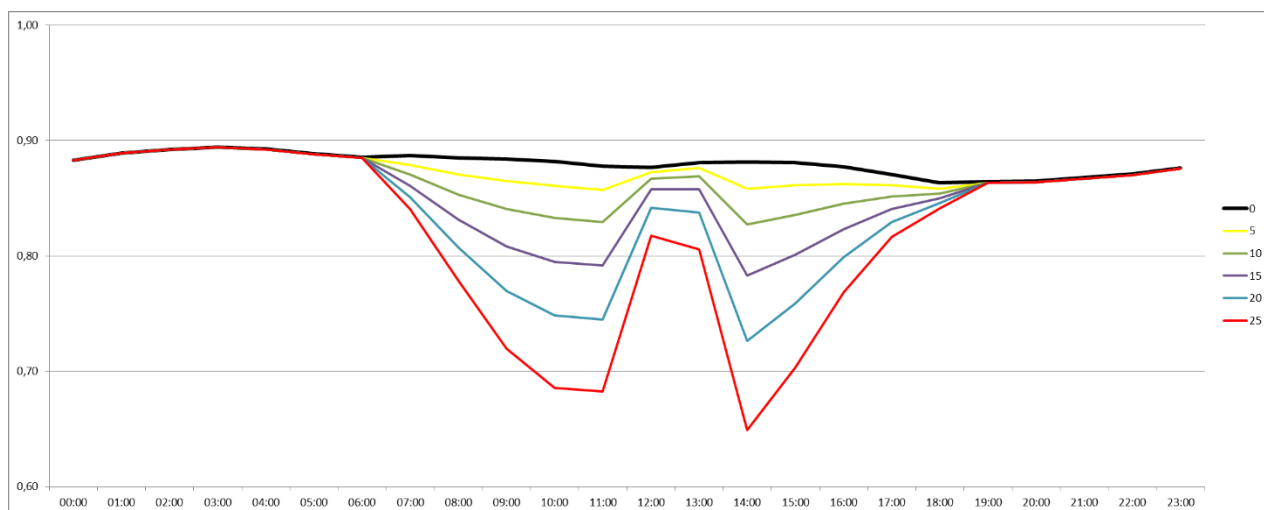


Figura 4.15 - Curva do Fator de Potência – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

	FATOR DE POTÊNCIA SLB 0102										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
00:00	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
01:00	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
02:00	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
03:00	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
04:00	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
05:00	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
06:00	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
07:00	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,80	0,79	0,77
08:00	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,78	0,74	0,70	0,64	0,58	0,49
09:00	0,88	0,86	0,84	0,81	0,77	0,72	0,65	0,57	0,46	0,32	0,16
10:00	0,88	0,86	0,83	0,80	0,75	0,69	0,60	0,49	0,35	0,18	0,01
11:00	0,88	0,86	0,83	0,79	0,75	0,68	0,60	0,49	0,34	0,18	0,01
12:00	0,88	0,87	0,87	0,86	0,84	0,82	0,78	0,72	0,62	0,44	0,11
13:00	0,88	0,88	0,87	0,86	0,84	0,81	0,75	0,66	0,47	0,12	0,38
14:00	0,88	0,86	0,83	0,78	0,73	0,65	0,54	0,40	0,22	0,02	0,18
15:00	0,88	0,86	0,84	0,80	0,76	0,70	0,63	0,53	0,41	0,25	0,08
16:00	0,88	0,86	0,85	0,82	0,80	0,77	0,73	0,69	0,63	0,56	0,47
17:00	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,80	0,79	0,77	0,75	0,72
18:00	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82
19:00	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
20:00	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
21:00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
22:00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
23:00	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88

Tabela 4.14: Fator de Potência – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.5.4 Análise de Perdas

As perdas técnicas reduziram significativamente até 45% de penetração de GD, conforme figura 4.16 abaixo, apresenta perda acima de 50% nos patamares das 11h, 13h e 14h, conforme tabela 4.15 a seguir. Apresentou maior ganho em comparação com o estudo de caso 1, devido a maior redução.

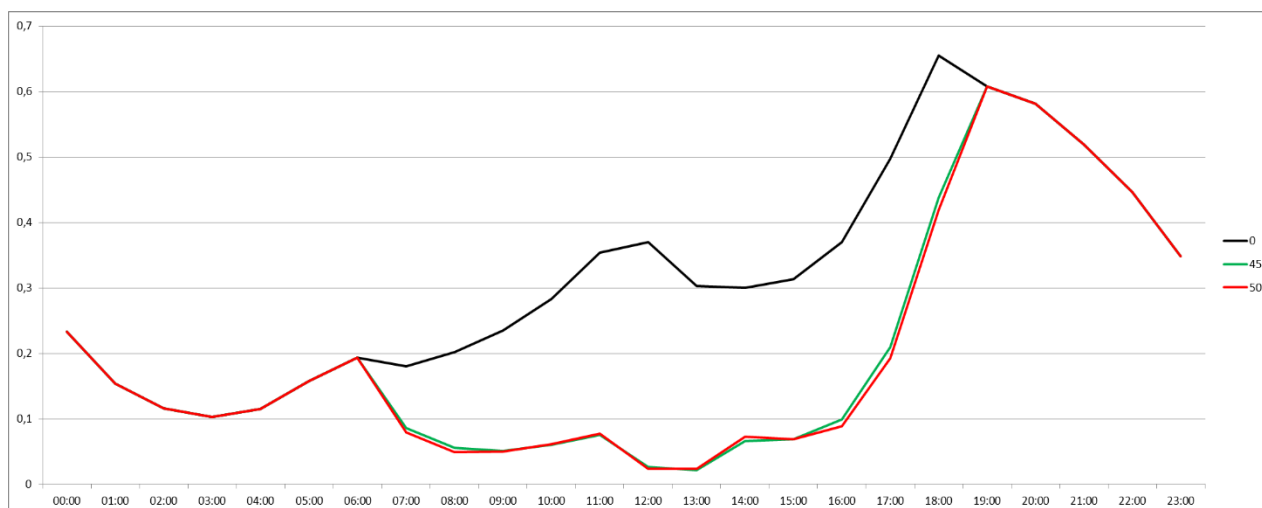


Figura 4.16 - Curva das Perdas Técnicas – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

PERDAS SLB 0102											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
00:00	0,2331	0,2331	0,2331	0,2331	0,2331	0,2331	0,2331	0,2331	0,2331	0,2331	0,2331
01:00	0,1534	0,1534	0,1534	0,1534	0,1534	0,1534	0,1534	0,1534	0,1534	0,1534	0,1534
02:00	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164
03:00	0,1033	0,1033	0,1033	0,1033	0,1033	0,1033	0,1033	0,1033	0,1033	0,1033	0,1033
04:00	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115
05:00	0,1574	0,1574	0,1574	0,1574	0,1574	0,1574	0,1574	0,1574	0,1574	0,1574	0,1574
06:00	0,1935	0,1935	0,1935	0,1935	0,1935	0,1935	0,1935	0,1935	0,1935	0,1935	0,1935
07:00	0,1798	0,1646	0,1501	0,1377	0,1274	0,1184	0,1094	0,1009	0,0929	0,086	0,0793
08:00	0,2024	0,1732	0,1479	0,1267	0,11	0,0957	0,0831	0,0722	0,063	0,0554	0,0494
09:00	0,2349	0,1926	0,1565	0,1285	0,1062	0,0891	0,0755	0,0643	0,0566	0,0512	0,0499
10:00	0,2827	0,2264	0,1806	0,1443	0,1177	0,0974	0,0811	0,0703	0,0634	0,0602	0,0617
11:00	0,3539	0,2825	0,2247	0,1798	0,1459	0,122	0,1013	0,0881	0,0791	0,0755	0,0775
12:00	0,3696	0,2863	0,2187	0,165	0,1247	0,0945	0,0687	0,0493	0,0355	0,0266	0,024
13:00	0,3034	0,2287	0,17	0,1241	0,0905	0,0662	0,0454	0,0328	0,0239	0,0214	0,024
14:00	0,2999	0,2344	0,1832	0,1449	0,1168	0,0959	0,0796	0,0706	0,0664	0,0665	0,0726
15:00	0,3129	0,2521	0,2027	0,1643	0,1348	0,114	0,0954	0,082	0,0737	0,0693	0,0688
16:00	0,3699	0,3138	0,2656	0,2266	0,1949	0,1696	0,1459	0,1271	0,1116	0,0994	0,089
17:00	0,4974	0,4486	0,4036	0,365	0,3327	0,3053	0,2774	0,2528	0,2311	0,2099	0,1921
18:00	0,6548	0,6229	0,5922	0,5644	0,5409	0,519	0,4966	0,476	0,4565	0,4376	0,4188
19:00	0,6082	0,6082	0,6082	0,6082	0,6082	0,6082	0,6082	0,6082	0,6082	0,6082	0,6082
20:00	0,5814	0,5814	0,5814	0,5814	0,5814	0,5814	0,5814	0,5814	0,5814	0,5814	0,5814
21:00	0,5187	0,5187	0,5187	0,5187	0,5187	0,5187	0,5187	0,5187	0,5187	0,5187	0,5187
22:00	0,4463	0,4463	0,4463	0,4463	0,4463	0,4463	0,4463	0,4463	0,4463	0,4463	0,4463
23:00	0,3483	0,3483	0,3483	0,3483	0,3483	0,3483	0,3483	0,3483	0,3483	0,3483	0,3483

Tabela 4.15: Perdas Técnicas – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.5.5 Análise do carregamento dos transformadores

A seguir apresentam-se os resultados da análise dos transformadores com carregamento dentro da faixa admissível.

Com a penetração de GD no alimentador, os transformadores de distribuição demonstraram ganho até 40%, conforme figura 4.17 abaixo, acima de 45% os transformadores apresentam perdas nos patamares das 10h e 14h, conforme tabela 4.16 a seguir.

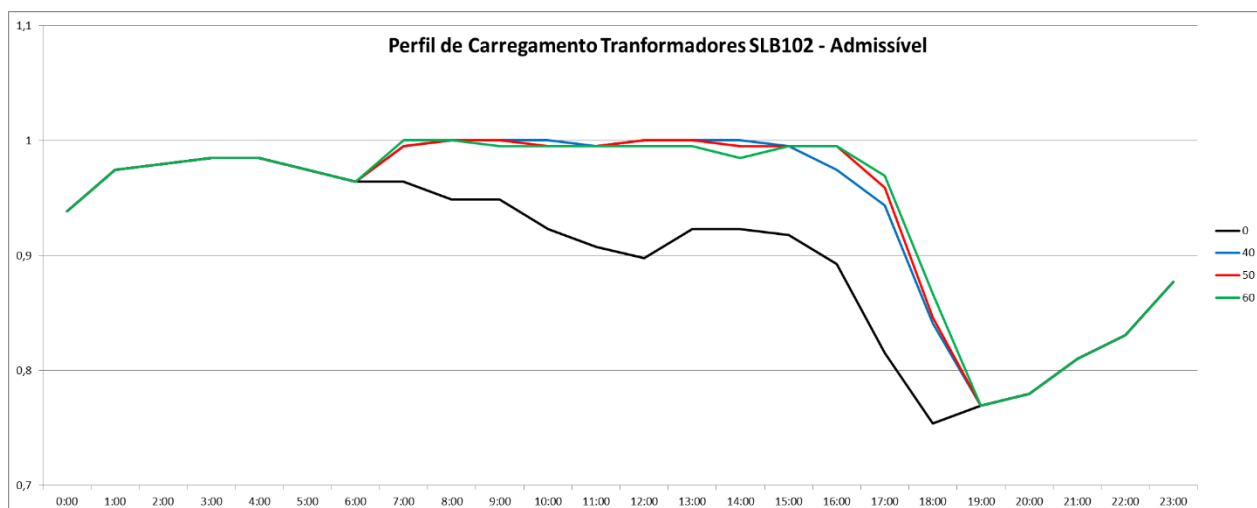


Figura 4.17 - Carregamento dos transformadores – Admissível – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

	Perfil de Carregamento Transformadores SLB102 - Admissível												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0:00	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538	0,938461538
1:00	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974
2:00	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179	0,979487179
3:00	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385
4:00	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385	0,984615385
5:00	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974
6:00	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564	0,964102564
7:00	0,964102564	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,974358974	0,984615385	0,994871795	0,994871795	0,994871795	0,994871795	0,994871795	1
8:00	0,948717949	0,969230769	0,974358974	0,974358974	0,984615385	0,994871795	0,994871795	0,994871795	1	1	1	1	1
9:00	0,948717949	0,953846154	0,958974359	0,969230769	0,979487179	0,994871795	0,994871795	1	1	1	1	0,994871795	0,994871795
10:00	0,923076923	0,948717949	0,958974359	0,964102564	0,969230769	0,984615385	0,98974359	0,994871795	1	0,994871795	0,994871795	0,994871795	0,994871795
11:00	0,907692308	0,923076923	0,953846154	0,958974359	0,964102564	0,969230769	0,984615385	0,98974359	0,994871795	0,994871795	0,994871795	0,994871795	0,994871795
12:00	0,897435897	0,923076923	0,948717949	0,958974359	0,969230769	0,979487179	0,98974359	1	1	1	1	1	0,994871795
13:00	0,923076923	0,948717949	0,958974359	0,974358974	0,984615385	0,98974359	1	1	1	1	1	1	0,994871795
14:00	0,923076923	0,948717949	0,958974359	0,958974359	0,974358974	0,979487179	0,98974359	1	1	0,994871795	0,994871795	0,994871795	0,984615385
15:00	0,917948718	0,933333333	0,953846154	0,958974359	0,964102564	0,974358974	0,979487179	0,98974359	0,994871795	0,994871795	0,994871795	0,994871795	0,994871795
16:00	0,892307692	0,923076923	0,933333333	0,943589744	0,953846154	0,958974359	0,958974359	0,964102564	0,974358974	0,984615385	0,994871795	0,994871795	0,994871795
17:00	0,815384615	0,846153846	0,871794872	0,882051282	0,902564103	0,917948718	0,928205128	0,933333333	0,943589744	0,948717949	0,958974359	0,958974359	0,969230769
18:00	0,753846154	0,769230769	0,78974359	0,794871795	0,805128205	0,820512821	0,820512821	0,841025641	0,841025641	0,841025641	0,846153846	0,861538462	0,866666667
19:00	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769	0,769230769
20:00	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179	0,779487179
21:00	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641	0,81025641
22:00	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231	0,830769231
23:00	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077	0,876923077

Tabela 4.16: Carregamento dos transformadores – Admissível – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

A seguir apresentam-se os resultados da análise dos transformadores com carregamento acima da faixa admissível.

A figura 4.18 abaixo apresenta ganho até 40% de penetração de GD, acima de 45% os transformadores apresentam perdas nos patamares das 10h e 14h, conforme tabela 4.17 a seguir.

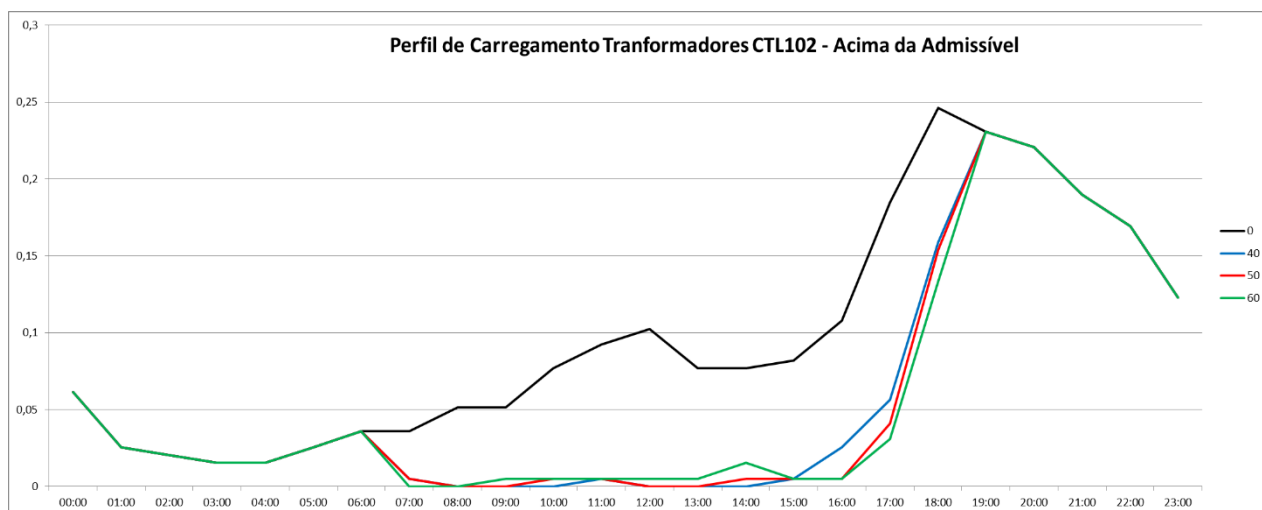


Figura 4.18 - Carregamento dos transformadores – Acima da Admissível Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
00:00	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462	0,061538462
01:00	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026
02:00	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821	0,020512821
03:00	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615
04:00	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615	0,015384615
05:00	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026
06:00	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436	0,035897436
07:00	0,035897436	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,025641026	0,015384615	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0
08:00	0,051282051	0,030769231	0,025641026	0,025641026	0,015384615	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0	0	0	0	0
09:00	0,051282051	0,046153846	0,041025641	0,030769231	0,020512821	0,005128205	0,005128205	0	0	0	0	0,005128205	0,005128205
10:00	0,076923077	0,051282051	0,041025641	0,035897436	0,030769231	0,015384615	0,01025641	0,005128205	0	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0,005128205
11:00	0,092307692	0,076923077	0,046153846	0,041025641	0,035897436	0,030769231	0,015384615	0,01025641	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0,005128205
12:00	0,102564103	0,076923077	0,051282051	0,041025641	0,030769231	0,020512821	0,01025641	0	0	0	0	0	0,005128205
13:00	0,076923077	0,051282051	0,041025641	0,025641026	0,015384615	0,01025641	0	0	0	0	0	0	0,005128205
14:00	0,076923077	0,051282051	0,041025641	0,041025641	0,025641026	0,020512821	0,01025641	0	0	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0,015384615
15:00	0,082051282	0,066666667	0,046153846	0,041025641	0,035897436	0,025641026	0,020512821	0,01025641	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0,005128205	0,005128205
16:00	0,107692308	0,076923077	0,066666667	0,056410256	0,046153846	0,041025641	0,041025641	0,035897436	0,025641026	0,015384615	0,005128205	0,005128205	0,005128205
17:00	0,184615385	0,153846154	0,128205128	0,117948718	0,097435897	0,082051282	0,071794872	0,066666667	0,056410256	0,051282051	0,041025641	0,041025641	0,030769231
18:00	0,246153846	0,230769231	0,21025641	0,205128205	0,194871795	0,179487179	0,179487179	0,158974359	0,158974359	0,158974359	0,153846154	0,138461538	0,133333333
19:00	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231	0,230769231
20:00	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821	0,220512821
21:00	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359	0,18974359
22:00	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769	0,169230769
23:00	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923	0,123076923

Tabela 4.17: Carregamento dos transformadores – Acima da Admissível – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.5.6 Análise da Tensão

A seguir apresentam-se os resultados de tensão dos diversos trechos do alimentador:

Adequada

Apresenta ganho até 70% de inserção de GD, conforme figura 4.19, acima de 80% apresentam perdas no patamar de 12h, conforme tabela 4.18 a seguir.

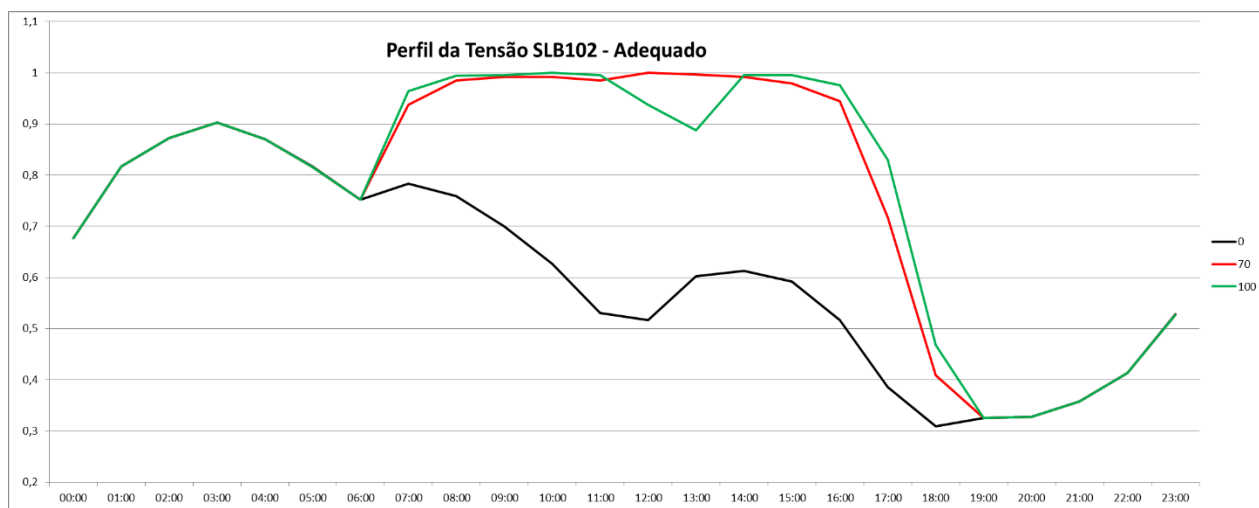


Figura 4.19 - Curva da Tensão, adequada – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Perfil de Tensão SLB102 - Adequado												
	0	10	20	30	40	50	55	60	70	80	90	100
00:00	0,67682376	0,67682376	0,67682376	0,67682376	0,67682376	0,67682376	0,67682376	0,67682376	0,67682376	0,67682376	0,67682376	0,67682376
01:00	0,81626856	0,81626856	0,81626856	0,81626856	0,81626856	0,81626856	0,81626856	0,81626856	0,81626856	0,81626856	0,81626856	0,81626856
02:00	0,8721756	0,8721756	0,8721756	0,8721756	0,8721756	0,8721756	0,8721756	0,8721756	0,8721756	0,8721756	0,8721756	0,8721756
03:00	0,9029051	0,9029051	0,9029051	0,9029051	0,9029051	0,9029051	0,9029051	0,9029051	0,9029051	0,9029051	0,9029051	0,9029051
04:00	0,87062621	0,87062621	0,87062621	0,87062621	0,87062621	0,87062621	0,87062621	0,87062621	0,87062621	0,87062621	0,87062621	0,87062621
05:00	0,81704325	0,81510652	0,81510652	0,81510652	0,81510652	0,81510652	0,81510652	0,81510652	0,81510652	0,81510652	0,81510652	0,81510652
06:00	0,75158167	0,75158167	0,75158167	0,75158167	0,75158167	0,75158167	0,75158167	0,75158167	0,75158167	0,75158167	0,75158167	0,75158167
07:00	0,78269852	0,81252421	0,83860555	0,85332473	0,87075533	0,90032279	0,90961911	0,92304713	0,93750807	0,95029051	0,95855391	0,96410587
08:00	0,75829567	0,80374435	0,84738541	0,89322143	0,93724984	0,95545513	0,97288573	0,98114913	0,98528083	0,99147837	0,9941898	0,9941898
09:00	0,70006456	0,78037444	0,84764364	0,92601679	0,94719174	0,97198192	0,98114913	0,99147837	0,99147837	0,9941898	0,99496449	0,99573919
10:00	0,62621046	0,73828276	0,82182053	0,88457069	0,94615881	0,96552615	0,97972886	0,98747579	0,99147837	0,99406068	0,99573919	0,99987088
11:00	0,53014848	0,63705617	0,75274371	0,84002582	0,91078115	0,9460297	0,95261459	0,97224015	0,98463525	0,98967076	0,99341511	0,99509361
12:00	0,51672046	0,67734022	0,85384119	0,96139445	0,97934151	0,99315688	0,9941898	0,99496449	1	0,99806327	0,98644287	0,93763719
13:00	0,60284054	0,78411879	0,941898	0,97366043	0,99315688	0,9941898	0,99573919	0,99573919	0,99599742	0,99096191	0,95338928	0,88766946
14:00	0,61291156	0,73660426	0,82788896	0,90832795	0,94512589	0,96591349	0,97972886	0,9883796	0,99147837	0,99406068	0,99496449	0,99573919
15:00	0,59147837	0,69644932	0,79857973	0,86507424	0,94060684	0,94577147	0,95648806	0,96462234	0,97895416	0,98967076	0,9925113	0,99483538
16:00	0,516204	0,59212395	0,65848935	0,74628793	0,81239509	0,85887669	0,89115558	0,91310523	0,94435119	0,94577147	0,9518399	0,97520981
17:00	0,38605552	0,43692705	0,49218851	0,53763719	0,57224015	0,6232408	0,64286637	0,65900581	0,71723693	0,76901227	0,80438993	0,82943835
18:00	0,30858618	0,32420917	0,33053583	0,34460943	0,35545513	0,3767592	0,38334409	0,39496449	0,40839251	0,42982569	0,44131698	0,46830213
19:00	0,32562944	0,32562944	0,32562944	0,32562944	0,32562944	0,32562944	0,32562944	0,32562944	0,32562944	0,32562944	0,32562944	0,32562944
20:00	0,32743706	0,32743706	0,32743706	0,32743706	0,32743706	0,32743706	0,32743706	0,32743706	0,32743706	0,32743706	0,32743706	0,32743706
21:00	0,3576501	0,3576501	0,3576501	0,3576501	0,3576501	0,3576501	0,3576501	0,3576501	0,3576501	0,3576501	0,3576501	0,3576501
22:00	0,41394448	0,41394448	0,41394448	0,41394448	0,41394448	0,41394448	0,41394448	0,41394448	0,41394448	0,41394448	0,41394448	0,41394448
23:00	0,5278244	0,52666236	0,52666236	0,52666236	0,52666236	0,52666236	0,52666236	0,52666236	0,52666236	0,52666236	0,52666236	0,52666236

Tabela 4.18: Tensões, adequado – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Subtensão Precária

Apresenta ganho em todos os níveis de inserção de GD, conforme figura 4.20 abaixo, exceto no patamar das 18:00 que apresentou aumento em todos os níveis de penetração de GD devido às tensões que saíram da situação crítica para precária, conforme tabela 4.19 a seguir.

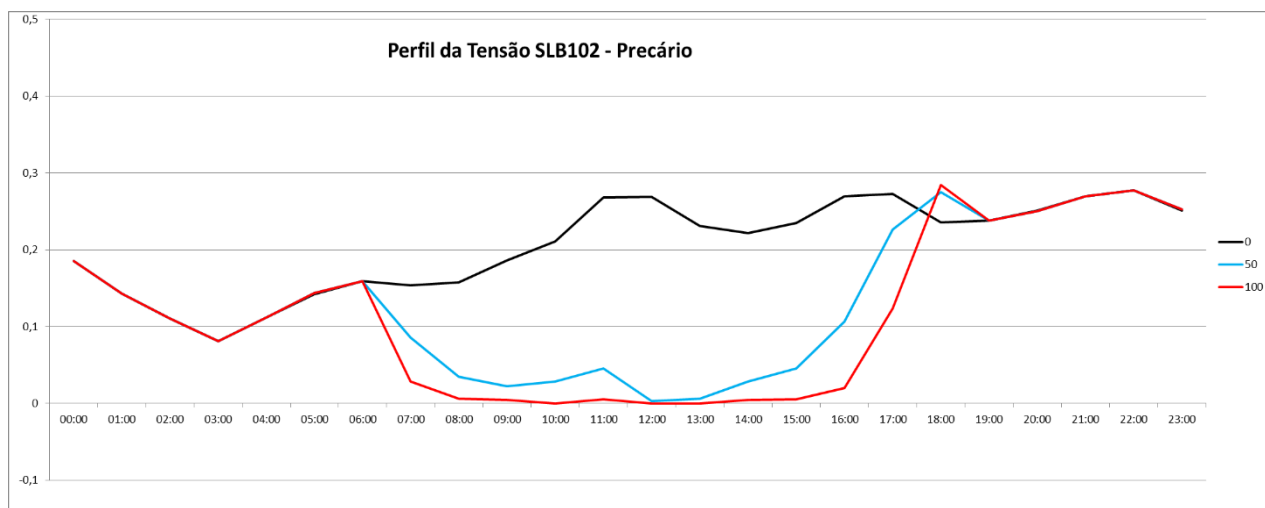


Figura 4.208 - Curva da Tensão, Subtensão precária – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

	0	10	20	30	40	50	55	60	70	80	90	100
00:00	0,18553906	0,18540994	0,18540994	0,18540994	0,18540994	0,18540994	0,18540994	0,18540994	0,18540994	0,18540994	0,18540994	0,18540994
01:00	0,14254358	0,14254358	0,14254358	0,14254358	0,14254358	0,14254358	0,14254358	0,14254358	0,14254358	0,14254358	0,14254358	0,14254358
02:00	0,11013557	0,11013557	0,11013557	0,11013557	0,11013557	0,11013557	0,11013557	0,11013557	0,11013557	0,11013557	0,11013557	0,11013557
03:00	0,08095546	0,08095546	0,08095546	0,08095546	0,08095546	0,08095546	0,08095546	0,08095546	0,08095546	0,08095546	0,08095546	0,08095546
04:00	0,11168496	0,11168496	0,11168496	0,11168496	0,11168496	0,11168496	0,11168496	0,11168496	0,11168496	0,11168496	0,11168496	0,11168496
05:00	0,14176888	0,14370562	0,14370562	0,14370562	0,14370562	0,14370562	0,14370562	0,14370562	0,14370562	0,14370562	0,14370562	0,14370562
06:00	0,15881214	0,15881214	0,15881214	0,15881214	0,15881214	0,15881214	0,15881214	0,15881214	0,15881214	0,15881214	0,15881214	0,15881214
07:00	0,15364751	0,13402195	0,13105229	0,12950291	0,11336346	0,08573273	0,07746934	0,06429955	0,05048418	0,03950936	0,03189154	0,02814719
08:00	0,15726275	0,14280181	0,13492576	0,09283409	0,04906391	0,03473209	0,02130407	0,01381536	0,01045836	0,00852163	0,0058102	0,0058102
09:00	0,1859264	0,15713363	0,11672046	0,05836023	0,04157521	0,02220788	0,01381536	0,00426081	0,00426081	0,0058102	0,00503551	0,00426081
10:00	0,21045836	0,16720465	0,13247256	0,09231762	0,03963848	0,02866365	0,01523564	0,0074887	0,00426081	0,00593932	0,00426081	0,00012912
11:00	0,2680439	0,22091672	0,18024532	0,11426727	0,06468689	0,04544868	0,04157521	0,02194964	0,01032924	0,00606843	0,00658489	0,00490639
12:00	0,26881859	0,19935442	0,12162686	0,02595223	0,01484829	0,00258231	0,0058102	0,00503551	0	0	0	0
13:00	0,23111685	0,15919948	0,04415752	0,01704325	0,00258231	0,0058102	0,00426081	0,00426081	0	0	0	0
14:00	0,22182053	0,17030342	0,12498386	0,06881859	0,0423499	0,02827631	0,01446094	0,00658489	0,00426081	0,00593932	0,00503551	0,00426081
15:00	0,23499032	0,19806327	0,14641704	0,0946417	0,03511943	0,04570691	0,03770174	0,02956746	0,01601033	0,00606843	0,0074887	0,00516462
16:00	0,26985152	0,24092963	0,2149774	0,18941252	0,1377663	0,10613299	0,09025178	0,0738541	0,04712718	0,04673983	0,0423499	0,01975468
17:00	0,27295029	0,27372498	0,26455778	0,25577792	0,2564235	0,22595223	0,2207876	0,21601033	0,19690123	0,17056165	0,14280181	0,1236927
18:00	0,23576501	0,24118786	0,25616527	0,26107166	0,27462879	0,27501614	0,27785668	0,26998063	0,27979342	0,28637831	0,29657844	0,28418334
19:00	0,23808909	0,23795997	0,23795997	0,23795997	0,23795997	0,23795997	0,23795997	0,23795997	0,23795997	0,23795997	0,23795997	0,23795997
20:00	0,25074241	0,2506133	0,2506133	0,2506133	0,2506133	0,2506133	0,2506133	0,2506133	0,2506133	0,2506133	0,2506133	0,2506133
21:00	0,26959329	0,26959329	0,26959329	0,26959329	0,26959329	0,26959329	0,26959329	0,26959329	0,26959329	0,26959329	0,26959329	0,26959329
22:00	0,27708199	0,27708199	0,27708199	0,27708199	0,27708199	0,27708199	0,27708199	0,27708199	0,27708199	0,27708199	0,27708199	0,27708199
23:00	0,25138799	0,25255003	0,25255003	0,25255003	0,25255003	0,25255003	0,25255003	0,25255003	0,25255003	0,25255003	0,25255003	0,25255003

Tabela 4.19: Subtensões, precária – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Subtensão Crítica

A figura 4.21 abaixo demonstra ganho significativo em todos os níveis de inserção de GD, conforme tabela 4.20 a seguir.

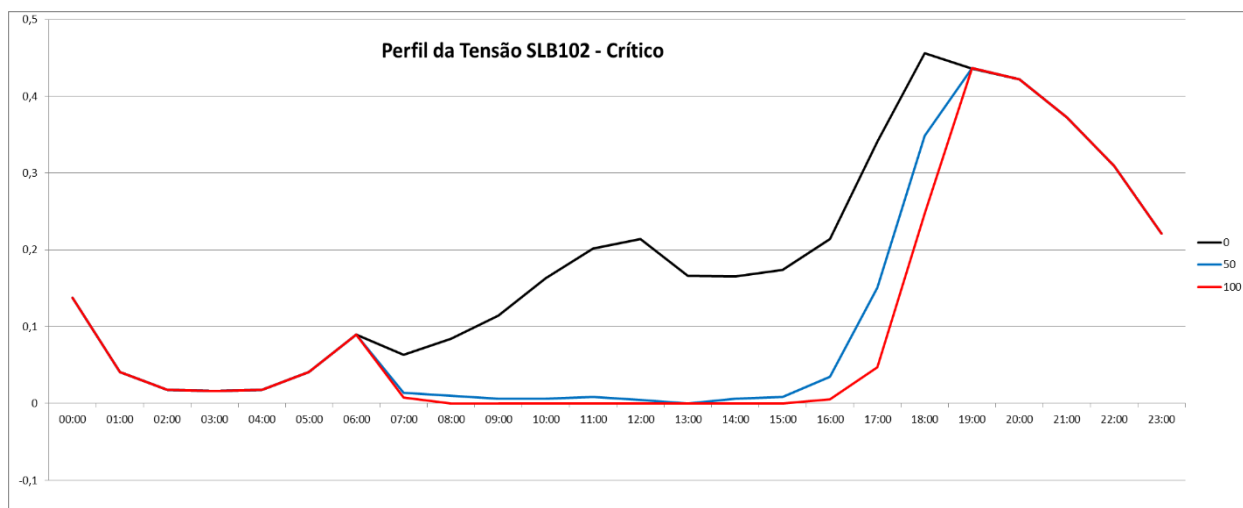


Figura 4.219 - Curva da Tensão, crítica – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

	Perfil de Tensão SLB102 - Crítico											
	0	10	20	30	40	50	55	60	70	80	90	100
00:00	0,13763719	0,1377663	0,1377663	0,1377663	0,1377663	0,1377663	0,1377663	0,1377663	0,1377663	0,1377663	0,1377663	0,1377663
01:00	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786
02:00	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883
03:00	0,01613944	0,01613944	0,01613944	0,01613944	0,01613944	0,01613944	0,01613944	0,01613944	0,01613944	0,01613944	0,01613944	0,01613944
04:00	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883	0,01768883
05:00	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786	0,04118786
06:00	0,0896062	0,0896062	0,0896062	0,0896062	0,0896062	0,0896062	0,0896062	0,0896062	0,0896062	0,0896062	0,0896062	0,0896062
07:00	0,06365397	0,05345384	0,03034216	0,01717237	0,01588121	0,01394448	0,01291156	0,01265332	0,01200775	0,01020013	0,00955455	0,00774693
08:00	0,08444158	0,05345384	0,01768883	0,01394448	0,01368625	0,00981278	0,0058102	0,00503551	0,00426081	0	0	0
09:00	0,11400904	0,06249193	0,03563589	0,01562298	0,01123305	0,0058102	0,00503551	0,00426081	0,00426081	0	0	0
10:00	0,16333118	0,09451259	0,04570691	0,02311168	0,01420271	0,0058102	0,00503551	0,00426081	0,00426081	0	0	0
11:00	0,20180762	0,14202711	0,06701097	0,04570691	0,02453196	0,00852163	0,0058102	0,00503551	0,00426081	0,00426081	0	0
12:00	0,21446094	0,12330536	0,02453196	0,01265332	0,0058102	0,00426081	0	0	0	0	0	0
13:00	0,16604261	0,05668173	0,01394448	0,00929632	0,00426081	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0,16526791	0,09309232	0,04712718	0,02285345	0,01252421	0,0058102	0,0058102	0,00503551	0,00426081	0	0	0
15:00	0,17353131	0,10548741	0,05500323	0,04028405	0,02427372	0,00852163	0,0058102	0,00503551	0,00426081	0,00426081	0	0
16:00	0,21394448	0,16694642	0,12653325	0,06429955	0,04983861	0,03499032	0,01859264	0,01304067	0,00852163	0,0074887	0,0058102	0,00503551
17:00	0,34099419	0,28934797	0,24325371	0,20658489	0,17133635	0,15080697	0,13634603	0,12498386	0,08586185	0,06042608	0,05280826	0,04686895
18:00	0,45564881	0,43460297	0,4132989	0,39431892	0,36991607	0,34822466	0,33879923	0,33505487	0,31181407	0,283796	0,26210458	0,24751453
19:00	0,43628147	0,43641059	0,43641059	0,43641059	0,43641059	0,43641059	0,43641059	0,43641059	0,43641059	0,43641059	0,43641059	0,43641059
20:00	0,42182053	0,42194964	0,42194964	0,42194964	0,42194964	0,42194964	0,42194964	0,42194964	0,42194964	0,42194964	0,42194964	0,42194964
21:00	0,37275662	0,37275662	0,37275662	0,37275662	0,37275662	0,37275662	0,37275662	0,37275662	0,37275662	0,37275662	0,37275662	0,37275662
22:00	0,30897353	0,30897353	0,30897353	0,30897353	0,30897353	0,30897353	0,30897353	0,30897353	0,30897353	0,30897353	0,30897353	0,30897353
23:00	0,2207876	0,2207876	0,2207876	0,2207876	0,2207876	0,2207876	0,2207876	0,2207876	0,2207876	0,2207876	0,2207876	0,2207876

Tabela 4.20: Subtensões, crítica – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

Sobretensões Precária e Crítica

A figura 4.22 abaixo demonstra sobretensões precárias acima de 4% dos limites de tolerância com inserção de 70% de GD e sobretensões críticas acima de 11% dos limites de tolerância com penetração de 100% de GD no patamar de 13h, conforme tabela 4.21 a seguir.

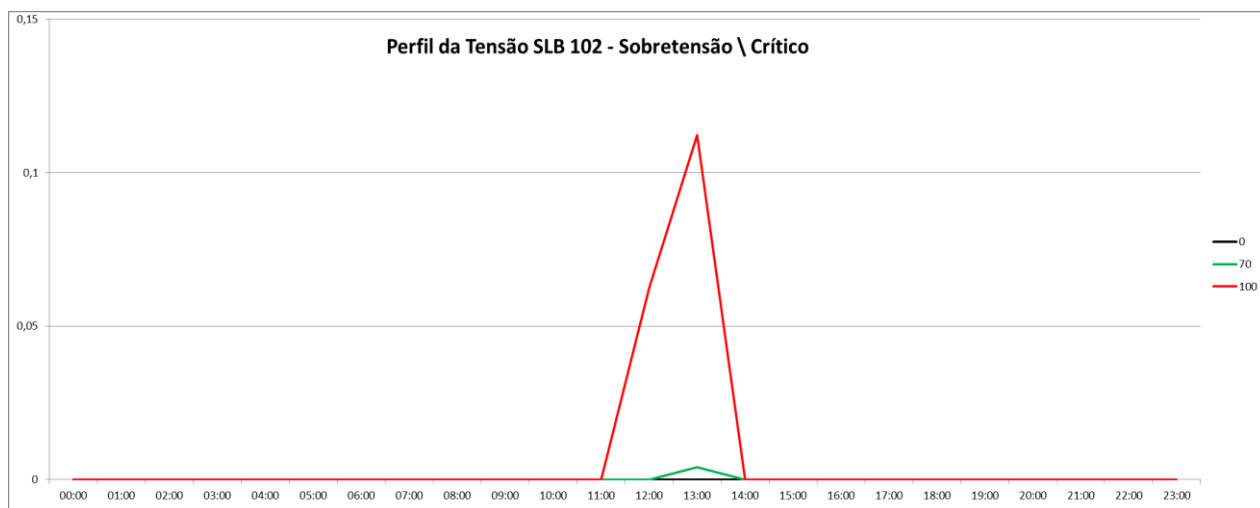


Figura 4.22 - Curva da Tensão, sobretensão \ crítico – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

	Perfil de Tensão SLB102 - Sobretensão					
	0	60	70	80	90	100
00:00	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0	0	0
08:00	0	0	0	0	0	0
09:00	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0,00193673	0,01355713	0,06236281
13:00	0	0	0,00400258	0,00903809	0,04661072	0,11233054
14:00	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0
16:00	0	0	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0

Tabela 4.21: Tensões, sobretensão \ crítico – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

4.6 Compilação dos Resultados

Após a análise dos dados se chegou aos valores limites de penetração de Geração Distribuída para cada parâmetro analisado em ambos os estudos de caso.

Parâmetros	Estudo de caso 1 (% GD)	Estudo de caso 2 (% GD)
Demanda	100	45
Microgeração	100	100
Fator de Potência	100	15
Perdas Técnicas	100	100
Carregamento dos transformadores	70	40
Tensão	80	70

Tabela 4.22: Compilação dos resultados – Fonte: resumo do relatório extraído do SinapGrid.

5. RECOMENDAÇÕES

Após as simulações no SinapGrid pôde-se notar os diferentes impactos sofridos por ambos os alimentadores, residencial e industrial\comercial, através de alterações nos parâmetros de tensão, carga, fator de potência, perdas técnicas e carregamento dos transformadores de distribuição.

Para o estudo de caso 1 com alimentador de característica industrial/comercial recomenda-se a penetração, no máximo, de 70% devido aos impactos nos carregamentos dos transformadores e na tensão, os quais obtiveram perdas no patamar das 12:00 e devido a possíveis alterações conforme o tipo que carga específica de cada alimentador industrial/comercial, mediante a adequação na RDEE com a utilização de reguladores de tensão e banco de capacitores.

Para o estudo de caso 2 com alimentador de característica residencial recomenda-se a inserção, no máximo, de 15% devido ao impacto no fator de potência do alimentador, o qual atingiu 0,78 no patamar das 14:00, mediante a adequação na RDEE com a utilização de reguladores de tensão e banco de capacitores para corrigir esse problema regulando o FP para níveis acima de 0,95.

Entretanto, não se pode afirmar que tais recomendações se apliquem a todos os alimentadores com características semelhantes, haja visto que a amostra estudada não é considerada significativa, ou seja, dois circuitos no universo de mais de 1400 circuitos. É recomendável que se faça uma análise futura com amostra significativa em quantidade de circuitos por características de perfil de carga. Desta maneira se poderia estipular valores limite de penetração de GDFV como regra para manter a confiabilidade das RDEE e a distribuidora poderia indicar o limite para seus alimentadores.

6. CONCLUSÃO

Através dessa pesquisa bibliográfica e dos estudos de caso, verificou-se níveis aceitáveis de penetração de Geração Distribuída solar fotovoltaica do tipo microgeração residencial em paralelismo com a RDEE e recomendações para a realização de análises futuras com amostra significativa para estipular valores limites para manter a confiabilidade das RDEE.

As políticas públicas de incentivo ajudaram a disseminar o setor de GD e atingir os níveis atuais, entretanto, novas soluções como por exemplo: tarifa *feed in*, cotas, certificados de energias renováveis, subsídios, concessões ou descontos podem desenvolver cada vez mais esse setor, como ocorreu em outros países como Estados Unidos, Canadá e Alemanha.

Quando se imagina geração distribuída nos moldes atuais, próxima à carga, se identifica condições técnicas e financeiras favoráveis para todos os agentes envolvidos, entretanto, se faz necessário o alinhamento dos procedimentos regulatórios, comerciais e técnicos para o ganho de ambas as partes, tendo em vista que esse segmento é relativamente novo e precisa ser aperfeiçoado ao decorrer da sua evolução para equilibrar os interesses de todos.

Atualmente o Brasil enfrenta períodos de estiagem, portanto se faz necessária a redução da produção de energia hidrelétrica para abastecer o consumo humano, fato que torna importante a exploração dos diversos tipos de geração, inclusive GD, entende-se que não se pode prever o caos e por isso é imprescindível planejar a ampliação deste segmento para o setor elétrico visando conter à variação das tarifas e também garantir a confiabilidade da melhoria da Matriz energética Brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
<<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>>

BAER, Werner, A economia brasileira; tradução de Edite Sciulli – 2, ed. Ver. E atual.
– São Paulo. Editora Nobel, 2002.

AES ELETROPAULO. Nota Técnica NTE-G-022 – Apresentação de requisitos para acessantes de geração ao Sistema de Distribuição da AES Eletropaulo e de habilitação de agentes geradores para participação de leilões de energia – Editora AES Eletropaulo, Versão 01, São Paulo, 2017, disponível em
<<https://www.aeseletropaulo.com.br/padrees-e-normas-tecnicas/manuais-normas-tecnicas-e-de-seguranca/Documents/Padr%C3%B5es%20e%20Normas%20T%C3%A9cnicas/NTE-G-022-0.pdf>>, acesso em 15 de agosto de 2017, 14:34.

AES ELETROPAULO. Norma Técnica - 2.018: Cálculo de Demanda Rede para Acréscimo de Novas Cargas na Rede de Distribuição de Baixa Tensão – Editora AES Eletropaulo, Versão 01, São Paulo, 2007, disponível em
< <https://www.aeseletropaulo.com.br/padrees-e-normas-tecnicas/manuais-normas-tecnicas-e-de-seguranca/Documents/Padr%C3%B5es%20e%20Normas%20T%C3%A9cnicas/NT-2018.pdf>>, acesso em 15 de agosto de 2017, 15:14.

AES ELETROPAULO. Norma Técnica – 6.012: Requisitos Mínimos para Interligação de Microgeração e Minigeração Distribuída com a Rede de Distribuição da AES Eletropaulo com Paralelismo Permanente Através do Uso de Inversores - Consumidores de Média e de Baixa Tensão. Editora AES Eletropaulo, 4.ed – São Paulo, 2016, disponível em
<<https://www.aeseletropaulo.com.br/padrees-e-normas-tecnicas/geradores-de-energia/Documents/NT%206012-4.pdf>>, acesso em 09 de agosto de 2017, 12:24.

ANEEL – Audiência Pública nº 042/2011.

ANEEL – Consulta Pública nº 015/2010

ANEEL - Módulo 3 - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, rev5 e rev6.

ANEEL - Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL

ANEEL – Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012

ANEEL - Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015

ARAÚJO, Antônio E. A.; NEVES, Washington L. A. Cálculo de transitórios eletromagnéticos em sistemas de energia, Belo Horizonte. Editora UFMG, 2005, 261.

COCIAN, Luís Fernando Espinosa, Introdução à Engenharia (recurso eletrônico) – Porto Alegre, Bookman, 2017. e-PUB.

ISBN: 9788582604182, disponível em

<[https://books.google.com.br/books?id=BjulDQAAQBAJ&pg=PT11&dq=a+modelagem+nos+problemas+de+engenharia&hl=pt-](https://books.google.com.br/books?id=BjulDQAAQBAJ&pg=PT11&dq=a+modelagem+nos+problemas+de+engenharia&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiO1ZDQkpTXAhULDZAKHcP1CskQ6AEIQTAF#v=onepage&q=a%20modelagem%20nos%20problemas%20de%20engenharia&f=false)

[BR&sa=X&ved=0ahUKEwiO1ZDQkpTXAhULDZAKHcP1CskQ6AEIQTAF#v=onepage&q=a%20modelagem%20nos%20problemas%20de%20engenharia&f=false](https://books.google.com.br/books?id=BjulDQAAQBAJ&pg=PT11&dq=a+modelagem+nos+problemas+de+engenharia&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiO1ZDQkpTXAhULDZAKHcP1CskQ6AEIQTAF#v=onepage&q=a%20modelagem%20nos%20problemas%20de%20engenharia&f=false)>, acesso em 28 de Outubro de 2017, 20:03.

CONFAZ - Despacho nº 79 de 2015.

Abreu, Yolanda Vieira de; Oliveira, Marco Aurélio Gonçalves de; Guerra, Sinclair Mallet Guy, Energia, economia, rotas tecnológicas. – Málaga, Espanha: Eumed.Net, Universidade de Málaga, 2010.

ISBN: 9788469364895, disponível em

<https://books.google.com.br/books?id=B3_u8UiBcqIC&pg=PA78&dq=impactos+gera%C3%A7%C3%A3o+distribuida+na+rede+de+distribui%C3%A7%C3%A3o&hl=pt-BR&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>, acesso em 27 de agosto de 2017, 10:34.

OCDE, Estudos econômicos da OCDE: Brasil 2000-2001, Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico; tradução de Joaquim Oliveira Martins. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2001.

REIS, Lineu Belico dos. Geração de energia elétrica. Editora Manole, 2015
ISBN: 8520445616, 9788520445617

Galvão, Cláudio Ribeiro ; Grimoni, José Aquiles Baesso; Udaeta, Miguel Edgar Morales, (Organizadores). Iniciação a Conceitos de Sistemas Energéticos para Desenvolvimento Limpo, – São Paulo; Editora da Universidade de São Paulo, 2004.
– (Acadêmica;58)

LEITÃO, Miriam, Reforma do setor elétrico tem que ouvir os diferentes segmentos, O Globo, 2017.

Disponível em,

<<http://blogs.oglobo.globo.com/miriam-leitao/post/reforma-do-setor-eletrico-tem-que-ouvir-os-diferentes-segmentos.html>>, acesso em 28 de Outubro de 2017, 21:13.

MINISTÉRIO DA FAZENDA, Convênio ICMS 16/15, disponível em

<https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15>, acesso em 03 de Setembro de 2017, 12h55min.

Brasil, LEI Nº 13.169, DE 6 DE OUTUBRO DE 2015, disponível em

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13169.htm>, acesso em 03 de Setembro de 2017, 16h49min.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia – PROINFA.

Disponível em:

< <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>> acesso em 03 de setembro de 2017, 15h32min.

OECD - Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico, Governança dos Recursos Hídricos no Brasil, OECD Publishing. Editora Paris, 2015, disponível em <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264238169-pt>>, acesso em 12 de agosto de 2017, 10:40.

MARCOVITCH, Jacques, Para mudar o futuro: mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais, Saraiva, 2006.

Poppius, Eduardo Bertil. Fundamentos de Eletromecânica. 1 Ed. Rio de Janeiro: Jaguatirica Digital, 2012.

Setor Elétrico Brasileiro - estrutura, funcionamento, instituições e perspectivas para o controle. Eustáquio José Rodrigues. Editora Biblioteca24horas ISBN: 1936108712, 9781936108718

Shayani, R. A. (2010). Método para Determinação do Limite de Penetração da Geração distribuída em Redes Radiais de Distribuição. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.TD-051/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 161p.

Sinapsis Energia

<http://www.sinapsisenergia.com/produtos/plataforma-sinapgrid-calculos-avancados-em-redes-eletricas/>, acesso em 22 de agosto de 2017, 12h21min.

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, disciplina Distribuição de Energia Elétrica, (2006).