



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## ANÁLISE DOS IMPACTOS DA INSERÇÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO COMPARTILHADO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

**Jonatas Endo Capuchim**

Acadêmico de Engenharia Elétrica - Universidade do Vale do Rio dos Sinos

jcapuchim@gmail.com

**Paulo Ricardo da Silva Pereira**

Professor do PPG em Engenharia Elétrica – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

prpereira@unisinos.br

**Resumo.** *Este artigo tem como objetivo analisar e avaliar os impactos do uso de sistemas de armazenamento compartilhado, em ambientes de micro e mini geração distribuída, que visam um aumento da eficiência da rede. Através da ferramenta OpenDSS, diferentes cenários são simulados em uma rede de distribuição padrão IEEE e, dados de nível de tensão, perdas de energia ativa e potência demandada da rede serão tratados e analisados. Os resultados obtidos apontam a melhora dos parâmetros elétricos da rede, conseqüentemente um aumento na eficiência da rede de distribuição sem grandes intervenções, mostrando que o sistema de armazenamento compartilhado é uma tecnologia promissora para uso nas redes de distribuição.*

**Palavras-chave:** Armazenamento compartilhado. Rede distribuição. Geração distribuída.

### 1. INTRODUÇÃO

Durante o horário de ponta do sistema (das 18h às 21h), as redes de distribuição podem operar próximo ao seu limite, comprometendo a qualidade da energia elétrica fornecida. Infelizmente, a geração distribuída (GD), predominantemente solar, não é eficaz para compensar os efeitos da alta demanda neste período.

Portanto, os sistemas de armazenamento compartilhado surgem como uma tecnologia promissora, uma vez que, ao inserir módulos de armazenamento em uma rede de distribuição, é possível gerenciar as curvas da GD e da demanda, promovendo um aumento na eficiência da rede e a melhora na qualidade da energia fornecida, sem a necessidade de grandes intervenções.

O trabalho apresenta os conceitos de sistemas de armazenamento compartilhado, define a rede de distribuição utilizada no estudo de caso e a metodologia aplicada para avaliação da rede. Por fim, apresenta a análise dos resultados e a conclusão do estudo.

### 2. SISTEMA DE ARMAZENAMENTO COMPARTILHADO

O avanço tecnológico das baterias secundárias e a mudança de paradigmas, quanto da geração e distribuição de energia elétrica, levaram ao desenvolvimento dos sistemas de armazenamento compartilhado.

#### 2.1 Conceito e configurações

Segundo Mithulananthan et al. [1], o IEEE define os sistemas de armazenamento compartilhado, ou do inglês CES, como um pequeno armazenamento de energia, distribuído e conectado ao secundário de um transformador de distribuição, que serve um

pequeno número de clientes residenciais ou comerciais.

Atualmente, de acordo com a AEP [2], o CES é definido como múltiplas unidades de armazenamento de energia elétrica, baseados em bateria secundária, conectados ao secundário de um transformador de distribuição e controlados através de uma central, conforme Fig. 1. O CES é fabricado em estrutura tipo pedestal e o transformador utilizado também, as conexões elétricas se dão de forma subterrânea e o sistema é modular, com potências nominais de 25 kW, 50kW e 75kW.

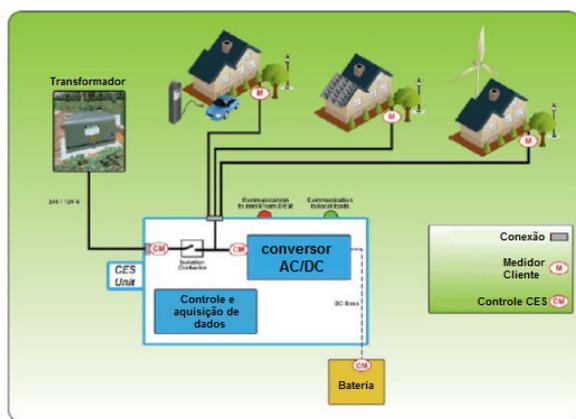


Figura 1. Componentes da CES e suas conexões

## 2.2 Desempenho

De acordo com a ref. [2], o desempenho elétrico do CES está descrito na Tabela 01, esses parâmetros levam em consideração o CES operando a 25°C e menos de 1000 ciclos de carga/descarga. O rendimento apresentado pelo carregador e pelo inversor de frequência presentes no CES é de 85%, considerando as mesmas condições apresentadas anteriormente.

Tabela 01. Desempenho do CES

Parâmetro	Desempenho
Tempo de descarga	= Potência nominal
Energia de descarga	= Pot. Desc./ Pot. nominal
Tempo de carga	$\leq$ Potência nominal
Energia de carga	$< 2x$ Tempo de descarga

## 3. ESTUDO DE CASO

Para observar o comportamento do CES em uma rede de distribuição, foi elaborado um estudo de caso, tomando como base a topologia de uma rede de teste do IEEE [3], adaptada a realidade brasileira.

### 3.1 Rede de Estudo

A rede de distribuição adotada para o estudo é o 123 *Node Test Feeder* do IEEE, apresentado na Fig. 2. Consiste em uma rede de distribuição bem heterogênea, composta por redes aéreas, redes subterrâneas, cargas equilibradas, cargas desbalanceadas, reguladores de tensão, banco de capacitores, chaves seccionadoras, etc.

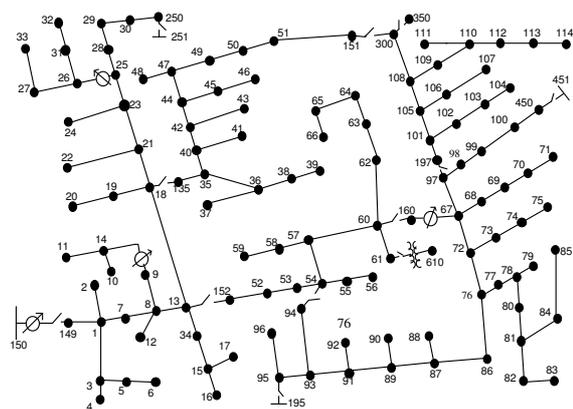


Figura 2. Alimentador IEEE 123 barras

Para efeitos de estudo, neste artigo, as cargas foram elevadas, de modo que os indicadores elétricos violassem os limites adequados, representando assim a realidade de muitos alimentadores existentes no sistema elétrico atual. As cargas foram divididas entre clientes residenciais, comerciais e industriais, cada tipo de cliente possui uma curva típica de carga, que descreve seu consumo ao longo do dia.

A rede original não contempla a geração distribuída, portanto foram inseridos pontos de geração distribuída, de forma aleatória, na rede de distribuição, até que totalizassem 30% da potência nominal do alimentador, pois, de acordo com Abreu *et al.*[4], é adequado considerar um limite máximo de

30% na penetração de geração distribuída em um alimentador.

Como o objetivo deste artigo é a análise do CES em ambiente de micro e mini geração distribuída, os módulos foram conectados as mesmas barras que contém geração distribuída e a potência dos módulos é semelhante à potência instalada da GD.

### 3.2 Cenários de Estudo

Para que realizar uma análise mais adequada, diferentes cenários são elaborados, assim possibilitado a realização de um comparativo. Para este artigo foram considerados quatro diferentes cenários. O primeiro cenário, definido como caso base considera a rede na sua forma natural, sem GD e sem CES, o segundo cenário considera somente a inserção de GD, o terceiro cenário considera a inserção do CES com ciclo de carga durante o dia e o ciclo de descarga no horário de ponta. O quarto e último cenário considera a inserção do CES com seu ciclo de carga na madrugada e ciclo de descarga no horário de ponta.

### 3.4 Parâmetros Analisados

Para que seja possível observar os efeitos da inserção do CES na rede de distribuição, serão definidos três parâmetros elétricos, obtidos através de software e comparados entre os cenários propostos.

O primeiro parâmetro é com relação ao nível de tensão, com base nos Procedimentos de Distribuição – PRODIST, foram estabelecidos os limites precários e críticos de tensão da rede. Cada transgressão de cada barra será contabilizada e por fim serão comparados os valores obtidos.

O segundo parâmetro é com relação as perdas de energia ativa do sistema, segundo ANEEL [5], as perdas são decorrentes das leis físicas relativas ao processo de transporte, transformação de tensão e medição. Os valores serão obtidos através do cálculo de fluxo de potência, realizado através de software. O terceiro parâmetro

analisado é com relação à potência demandada do alimentador, mais especificamente seu impacto sobre o carregamento do transformador da subestação.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para realização dos cálculos de fluxo de potência e obtenção dos parâmetros elétricos, foi utilizada a ferramenta OpenDSS. Para tratamento destes dados utilizou-se o software Matlab da Mathworks em conjunto com o Microsoft Excel.

### 4.2 Resultados Obtidos

No primeiro cenário, as transgressões precárias e críticas totalizaram 750 violações. Com a inserção da GD e dos CES, houve uma redução significativa, atingindo 275 transgressões de tensão no quarto cenário, resultando em uma redução de 63,3% com relação ao caso base, estes dados podem ser observados na Fig. 3.

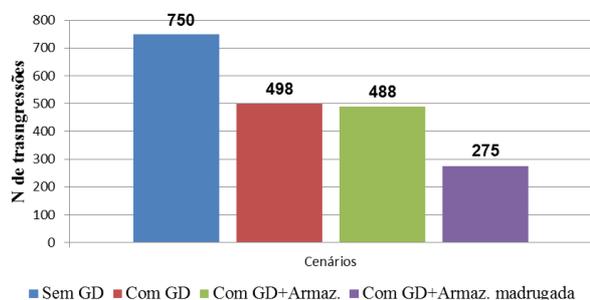


Figura 3. Total de transgressões de tensão

De acordo com a Fig. 4, as perdas de energia ativa observadas no primeiro cenário totalizaram 4,67 MWh. Estes valores são reduzidos, quando há inserção da geração distribuída, para 3,26 MWh, porém no quarto cenário há uma redução mais significativa, com relação ao primeiro cenário, totalizando 2,88 MWh ou uma redução de 38,2%.

No terceiro parâmetro estudado, foi observado uma redução significativa na potência demandada do sistema, esta redução é melhor observada medindo o nível de carregamento do transformador.

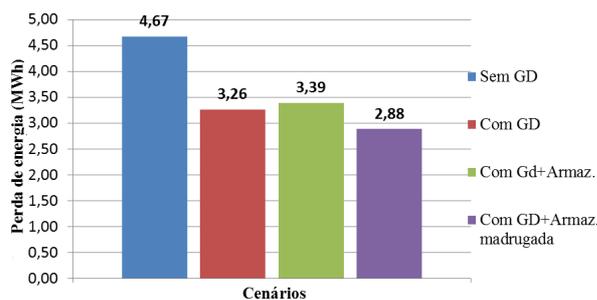


Figura 4. Perda de energia ativa total

De acordo com a Fig. 5, no primeiro cenário, o transformador teve um pico de carregamento de 70% e, manteve seu carregamento acima dos 50% durante 8 horas não consecutivas do dia.

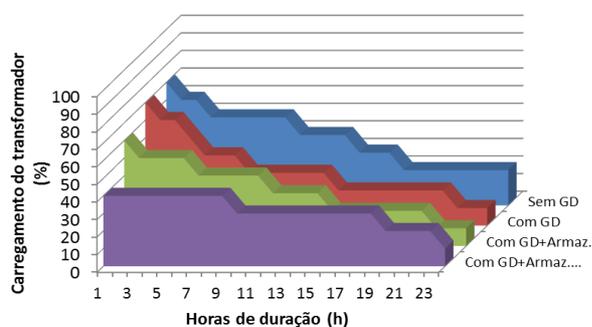


Figura 5. Curva de duração de carga do transformador

No quarto cenário, já é possível observar que o transformador não operou acima dos 50% de carregamento durante o dia, obtendo o valor máximo de 40% por um longo período.

## 5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um estudo sobre os impactos dos sistemas de armazenamento de energia conectado a uma rede de distribuição. Com base nos resultados obtidos, através das simulações, pode-se concluir que a GD, mesmo contribuindo para a diversificação da matriz energética, por si só, não é suficiente para o gerenciamento ótimo das demandas dos alimentadores de distribuição, principalmente em casos onde a demanda máxima ocorre fora do horário de injeção de potência no sistema pelas fontes de GD. A adição dos sistemas de

armazenamento na rede de distribuição oferece benefícios significativos, mostrado através da melhora nos três parâmetros analisados por este artigo.

A melhora nos níveis de tensão reflete na melhora do produto oferecido pelas concessionárias de energia elétrica a seus clientes. A redução das perdas técnicas e do carregamento do transformador possibilitam atender um maior número de cargas com a mesma infra-estrutura elétrica. Os resultados reforçam que houve o aumento da eficiência da rede de distribuição sem a necessidade de grandes obras, e sim através do gerenciamento das demandas locais.

Assim, o estudo mostra uma das formas de como é possível utilizar a tecnologia do armazenamento de energia como incremento a eficiência da rede de distribuição, mostrando ser promissor na questão de atendimento das demandas.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] N. Michulananthan e J. Sardi, "Community energy storage, a critical element in Smart Grid: A review of technology, prospect, challenges and opportunity", IEEE, 2014, p. 1.
- [2] American Electric Power – AEP, "Functional Specification for community energy storage (CES) unit", rev. 2.2, 2009, pp. 1-44.
- [3] IEEE Power Engineering Society – IEEE 123 Node Test Feeder, Disponível em: <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/testfeeders.pdf>
- [4] Y. V. Abreu, M. A. G. Oliveira e S. M. Guerra, "Energia, economia, rotas tecnológicas. Textos selecionados", 2010, pp. 100-107
- [5] Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, "Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST (Módulo 07 – Cálculo de perdas na distribuição)", rev. 3, 2013, p. 10.