

# MITIGAÇÃO DE SOBRETENSÃO CAUSADA PELA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM TÉCNICAS CONTROLE VOLT-VAR E VOLT-WATT

Matheus Magno de Araújo Garcia (UFPA) E-mail: [matheus.garcia@itec.ufpa.br](mailto:matheus.garcia@itec.ufpa.br)

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é destacar o impacto causado pela geração fotovoltaica dentro do contexto da geração distribuída (GD) nos níveis de tensão do sistema elétrico de potência e demonstrar algumas técnicas de controle de tensão como métodos mitigatórios para estes problemas. Foram feitas simulações utilizando os softwares OpenDSS e MATLAB, onde foi implementado um sistema teste. Como resultado das simulações, foi evidenciado a sobretensão causada pela inserção da GD, também foi realizada simulações onde foi implementado técnicas de controle de tensão aplicadas nos inversores fotovoltaicos como medida mitigatória.

**Palavras-chave:** Controle Volt-Var, Controle Volt-Watt, Geração Distribuída.

## OVERVOLTAGE MITIGATION CAUSED BY PHOTOVOLTAIC GENERATION WITH VOLT-VAR AND VOLT-WATT CONTROL TECHNIQUES

**Abstract:** The objective of this paper is to highlight the impact caused by the photovoltaic generation within the context of distributed generation (DG) at the voltage levels in the electric power system and demonstrate some voltage control techniques as mitigation methods for this problem. It was performed simulations using the OpenDSS and MATLAB software, where it was implemented a test system. As a result of the simulations, the overvoltage caused by the insertion of the DG was evidenced, also it was performed simulations where were implemented voltage control techniques there are applied in photovoltaic inverters as a mitigation method.

**Keyword:** Volt-Var Control, Volt-Watt Control, Distributed Generation.

### 1. Introdução

A geração distribuída (GD) pode ser definida como pequenas centrais geradoras que são comumente instaladas próximo ao consumidor. Para o CIGRÉ (Comitê Internacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica) a GD engloba unidades de geração com capacidade máxima de 50 a 100 MW, que geralmente são conectadas à rede de distribuição e que não são centralmente despachadas, nem planejadas (RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

A RN n° 687, de 24 de novembro de 2015 da ANEEL, define como microgeração distribuída uma central geradora com potência instalada menor ou igual a 75kW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia, e como mini geração distribuída uma central geradora com potência instalada superior a 75kW e igual ou inferior a 3MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5MW para as demais fontes de energia renováveis e para cogeração qualificada. Ambas são conectadas à rede de distribuição por meio de unidades consumidoras.

A geração distribuída trás diversas vantagens econômicas e ambientais tanto para o consumidor quanto para as empresas do setor energético, onde pode-se destacar:

- Redução dos custos de operação.
- Redução das perdas nas redes de distribuição e transmissão.
- Aumento na qualidade da energia elétrica

- Maior segurança na continuidade do fornecimento de energia, essencialmente em cargas críticas.
- Flexibilidade de instalação.
- Maior acesso à energia em localidades isoladas.

Redução da emissão de gases poluentes devido a utilização de energia limpa.

Dentre as fontes renováveis de energia que mais vem sendo utilizadas nas GD's, pode-se destacar a energia fotovoltaica, haja vista que o Brasil possui altos índices de irradiação solar todo o ano.

A crescente busca por novas tecnologias sustentáveis e formas de economizar gastos com energia faz com que cada vez mais novos consumidores adotem painéis fotovoltaicos nos telhados de suas residências. a ANEEL estima que até 2024, no Brasil, terão sido instalados mais de 1,2 milhão de geradores solares fotovoltaicos dentro da classificação de micro e minigeração distribuída e com potência máxima de 5 MWp (PEREIRA et al., 2006).

O gráfico da Figura 1 ilustra os dados da ANEEL para o número de instalações fotovoltaicas presentes no Brasil até junho de 2021, como é possível observar, o país atingiu uma marca de 532,5 mil unidades consumidoras com geração fotovoltaica, representando um aumento de 40% em relação ao ano de 2020, enquanto 689 mil unidades consumidoras recebem créditos de energia, representando um aumento de 46% em relação ao ano anterior.

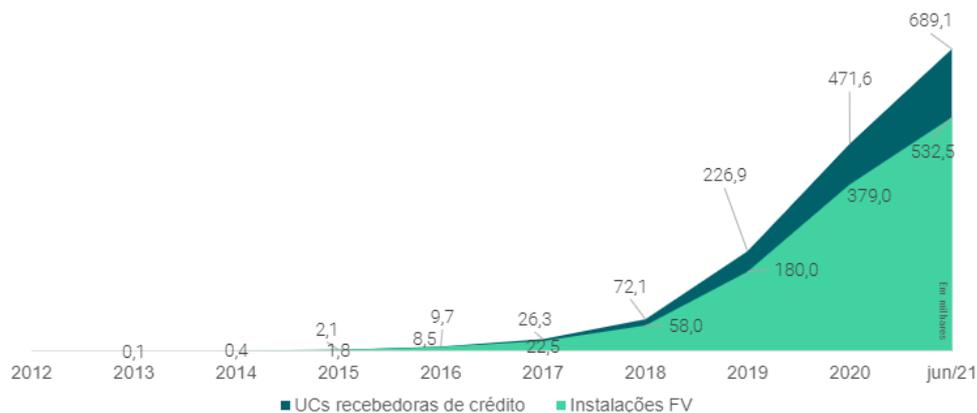


Figura 1 – Número de instalações fotovoltaicas no Brasil

Como listado anteriormente, a inserção da geração distribuída traz diversos benefícios pro setor energético, porém a massiva inserção da GD impacta diretamente na qualidade de energia elétrica, dentre estes impactos pode-se destacar:

- Distorções harmônicas causadas pelo uso de inversores dotados de eletrônica de potência.
- Variações de tensão de curta duração (VTCD) que, segundo o módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), são afundamentos e elevações de tensão com tempo inferior a 3 minutos, comumente causados pela variação da fonte primária de energia, como o sol ou o vento.
- Variações de tensão de longa duração (VTLD) que são caracterizadas como variação de tensão em regime permanente, causados devido a variação da curva de carga das unidades consumidoras e da curva de geração.

## 2. Variação de tensão de longa duração (VTLD)

Com a massiva penetração da geração distribuída, principalmente da geração fotovoltaica, observa-se um aumento dos níveis de tensão na barra na qual está inserida a GD. De acordo com o modulo 8 do PRODIST, a tensão a ser contratada nos pontos de conexão pelos acessantes, atendidos em tensão nominal de operação superior a 1kV, deve situar-se entre 0,95pu e 1,05pu.

A Figura 2 ilustra um sistema onde há uma unidade consumidora (UC) suprida por uma GD, caso a GD injete uma potência na barra maior que a demanda da carga, haverá o fluxo reverso pois a GD passará a fornecer potência para o sistema.

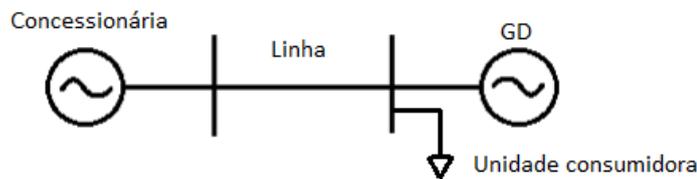


Figura 2 – Sistema teste

A Equação 1, demonstrada por Trindade (2017), representa a variação de tensão na barra da GD

$$\Delta V = V_{FV} - V_1 \approx \frac{R(P_{FV} - P_{carga}) + X(Q_{FV} - Q_{carga})}{V_{FV}} \quad (1)$$

Onde:

$V_{FV}$  – Tensão na barra da GD

$V_1$  – Tensão fornecida pelo geradora concessionária

$P_{FV}$  e  $Q_{FV}$  – Potência ativa e reativa do gerador fotovoltaico, respectivamente.

$P_{carga}$  e  $Q_{carga}$  – Demanda de carga da unidade consumidora

Pela Equação 1 é possível observar que para  $P_{FV} > P_{carga}$  a tensão na barra da GD será maior em comparação com a tensão na barra da concessionária.

Com o intuito de mitigar esses problemas, diversas técnicas de controle foram desenvolvidas, como os controles Volt-Var e Volt-Watt que são implementados nos inversores fotovoltaicos

### 3. Controle Volt-Var e Volt-Watt

#### 3.1. Controle Volt-Var

A técnica de controle Volt-Var se baseia na injeção ou absorção de potência reativa de acordo com o nível de tensão nos terminais do inversor fotovoltaico. Quando o nível de tensão cai a um nível especificado, o controle executa a injeção de potência reativa, enquanto que quando o nível de tensão se eleva excedendo os limites pré-estabelecidos, o controle executa a absorção de potência reativa (RAHIMI et al., 2017).

A Figura 3 ilustra a curva de controle Volt-Var, em caso de subtensão o controle irá apresentar um perfil capacitivo enquanto que para sobretensão apresentará um perfil indutivo.

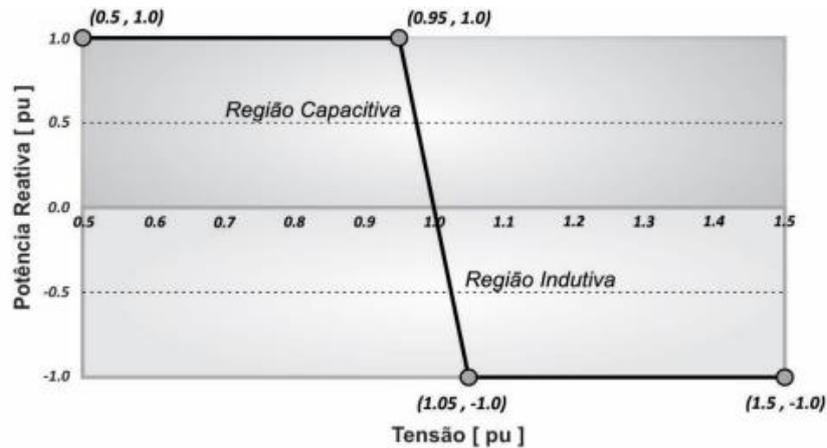


Figura 3 – Curva de controle Volt-Var

A potência reativa máxima que um inversor pode suprir em um determinado instante de tempo  $t$ , depende da potência ativa gerada no mesmo instante e é dado pela Equação 2, demonstrada por Trindade (2017).

$$Q_{m\acute{a}x}(t) = \sqrt{S_{nom}^2 - P(t)^2} \tag{2}$$

Onde  $S_{nom}$  é a potência aparente nominal do inversor.

Considerando que a variação de tensão durante a atuação do controlador é pequena, considera-se  $\Delta V = 0$  da Equação 1, logo obtém-se.:

$$\Delta Q = -\frac{\Delta P \cdot R}{X} = -\Delta P \left(\frac{X}{R}\right)^{-1} \tag{3}$$

Percebe-se que a variação de potência reativa do controle Volt-Var depende da variação de potência ativa e da relação X/R dos condutores.

### 3.2. Controle Volt-Watt

O controle Volt-Watt, assim como o controle Volt-Var, atua na mitigação de sobretensão, porém com ajuste da potência ativa de saída do gerador fotovoltaico. Este tipo de controle possui maiores vantagens em sistemas de distribuição devido a relação X/R dos cabos ser menor, se comparado aos sistemas de transmissão.

A Figura 4 ilustra a curva do controle Volt-Watt, onde é possível observar que para um aumento do nível de tensão, há uma diminuição da injeção de potência ativa.

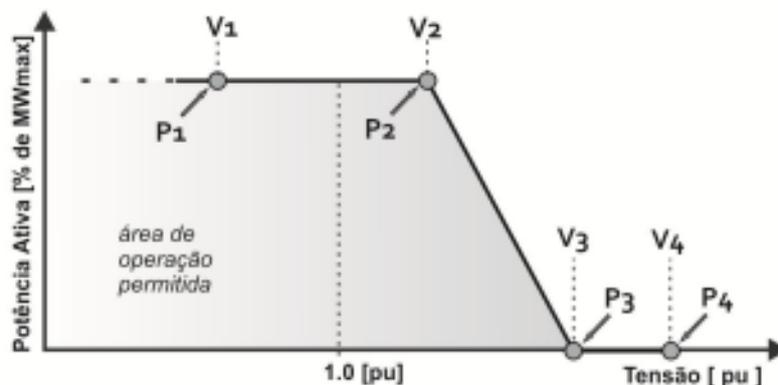


Figura 4 – Curva do controle Volt-Watt

#### 4. Simulações no OpenDSS

Com o intuito de verificar os impactos da GD na sobretensão do sistema, foi implementado o circuito teste da Figura 2 no OpenDSS, os resultados obtidos foram exportados para o MATLAB para plotar os gráficos. O sistema teste possui os seguintes dados:

Tensão nominal: 13,8kV

Cabo 4/0 CA:  $R=0,3021\Omega/km$  e  $X=0,4091\Omega/km$

Comprimento da linha: 15km

Potência máxima da GD instalada: 5MW

Potência ativa máxima da carga: 1MW

Potência reativa máxima da carga: 300kVAr

Para plotar as curvas de carga e de geração, foram inseridos no OpenDSS os objetos *Loadshape* e *PVSystem* na qual é possível definir a variação de carga e de geração ao longo do dia. A Figura 5 mostra a curva de carga considerada para análise do sistema teste onde é observado que o horário com maior pico de carga se encontra às 18:00. No gráfico também é possível observar a curva de geração fotovoltaica que considera a variabilidade da geração de acordo com a irradiância do sol ao longo do dia, é possível observar que o pico de geração se concentra no horário de 12:00.

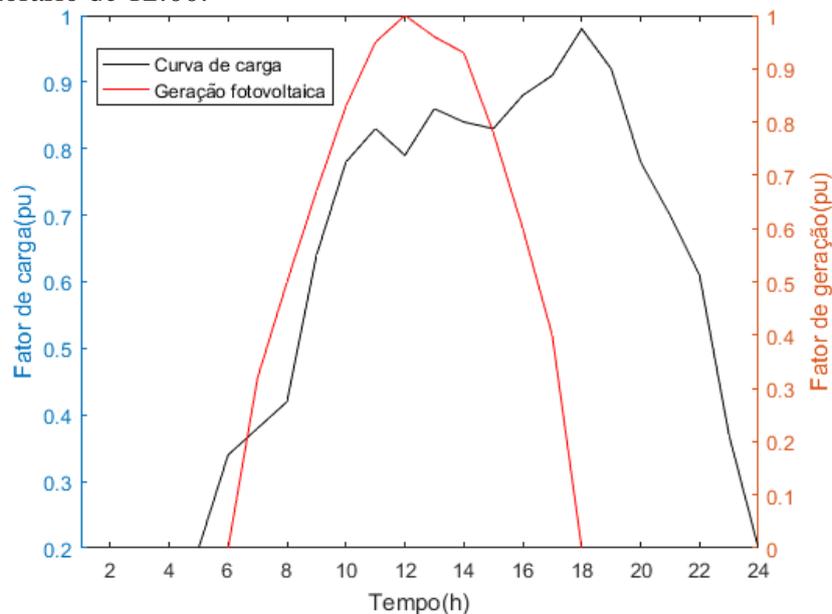


Figura 5 – Curva de carga e curva de geração fotovoltaica

Em seguida com os dados do sistema inseridos no OpenDSS, foi efetuado o cálculo de fluxo de carga e plotado o gráfico da tensão na barra da GD ao longo do dia, o gráfico é exibido na Figura 6

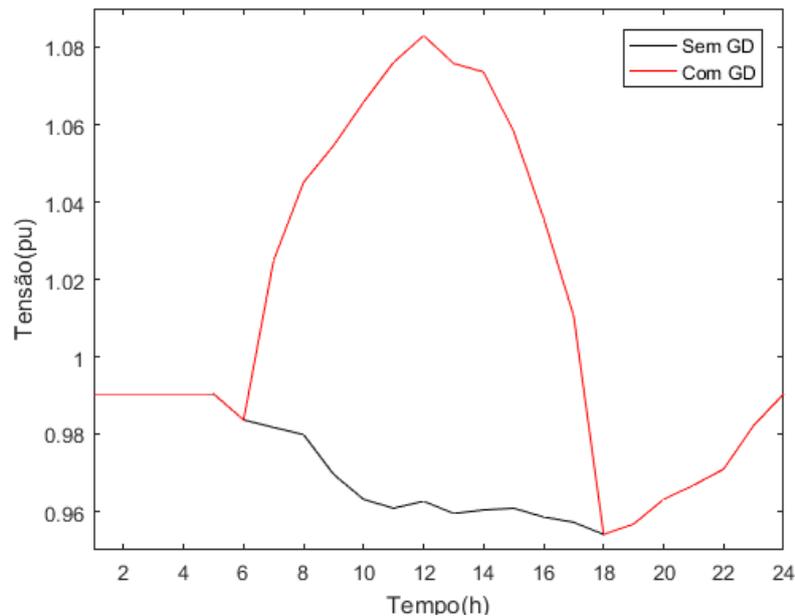


Figura 6 – Tensão na barra da carga com e sem a inserção da GD

Como é possível observar, sem a inserção da GD não há violação dos níveis de tensão, porém com a inserção da GD ocorre sobretensão, atingindo um pouco mais de 1,08pu no ponto de pico. É possível observar que às 18:00 ocorre o menor nível de tensão devido o pico de carga estar concentrando neste horário.

#### 4.1. Ação do controle Volt-Watt

Para simular a ação do controle Volt-Watt foi inserido no OpenDSS o objeto *InvControl* no qual é possível definir o método de controle de tensão no inversor fotovoltaico. Segundo o PRODIST, foram estabelecidos os limites inferiores e superiores de 0,95 e 1,05 pu, respectivamente. A Figura 7 exibe a tensão na barra da GD com ação do controle Volt-Watt

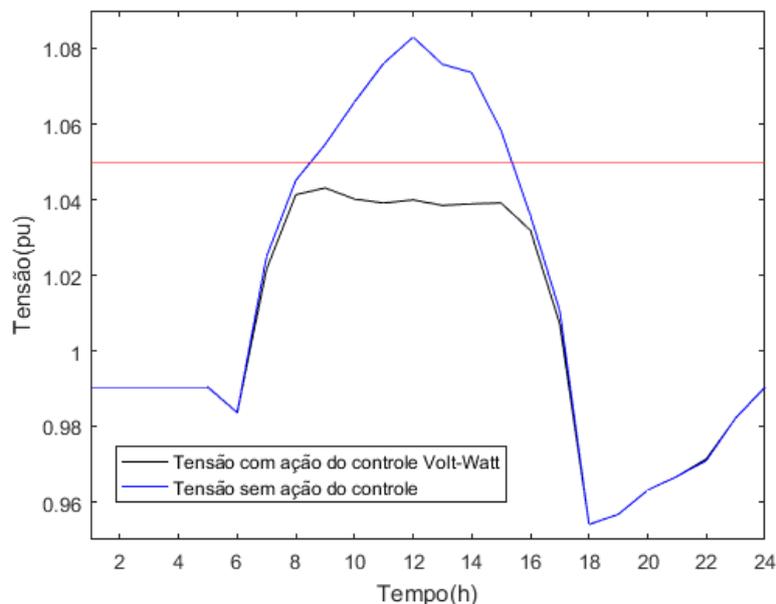


Figura 7 – Tensão na barra da GD com ação do controle Volt-Watt

É possível observar que a ação do controle foi satisfatória e não houve violação do nível de tensão.

#### 4.2. Ação do controle Volt-Var

Em seguida, foi feita a simulação considerando o controle Volt-Var, no objeto *InvControl* do OpenDSS foi especificado o modo Volt-Var e estabelecido seus limites de 0,95 e 1,05pu. A Figura 8 exibe o gráfico da tensão na barra da GD com ação do controle Volt-Var

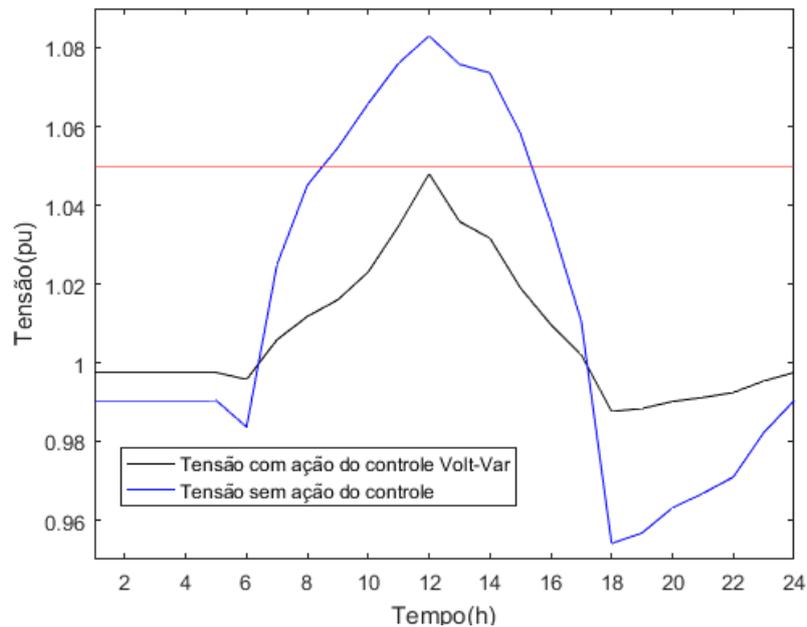


Figura 8 – Tensão na barra da GD com ação do controle Volt-Var

É possível observar que diferentemente da Figura 7, o controle Volt-Var atuou inclusive nos horários onde não houve violação dos níveis de tensão, tentando mantê-los em 1pu, ou seja, durante a sobretensão o controle Volt-Var atua na região indutiva enquanto que nos horários onde nota-se o aumento do nível de tensão o controle atua na região capacitiva.

#### 5. Conclusão

Como foi observado, o alto grau de penetração da GD pode ocasionar uma sobretensão, violando os níveis estabelecidos pelo PRODIST. Como foi evidenciado, existem duas técnicas principais de controle de tensão aplicados a inversores fotovoltaicos, sendo elas as técnicas Volt-Watt e Volt-Var que injetam ou absorvem potência ativa e reativa do sistema fotovoltaico.

As duas técnicas de controle se mostraram satisfatórias para o problema proposto, porém foi concluído que a técnica Volt-Var obteve um desempenho maior, também devido ao fato da relação X/R do cabo, pois o cabo utilizado possui reatância superior a resistência.

Por fim, conclui-se que é necessário realizar estudos de sobretensão em projetos de geração distribuída, e com isso buscar medidas mitigatórias para contornar estes problemas.

#### Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica”. 7 de dezembro de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: “Resolução Normativa N°687, de 24 de novembro de 2015”.

TRINDADE, F. C. L.; FERREIRA, T. S. D.; LOPES, M. G. & FREITAS, W. "Mitigation of Fast Voltage Variations During Cloud Transients in Distribution Systems With PV Solar Farms," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 32, no. 2, pp. 921-932, April 2017.

**RAHIMI, K.; TBAILEH, A.; BROADWATER, R.; WOYAK, J.; & DILEK, M.** "Voltage regulation performance of smart inverters: Power factor versus volt-VAR control," 2017 North American Power Symposium (NAPS), 2017, pp. 1-6.

**PEREIRA, E. B.** et. al. "Atlas brasileiro de energia solar". São José dos Campos, 2006.

**RIBEIRO, P.; FERREIRA, F.; MEDEIROS, F.** "Geração distribuída e impacto na qualidade de energia". VI Seminário Brasileiro Sobre Qualidade da Energia Elétrica – SBQEE, Belém, 2005. pp. 1-8.

**WANZELER, T. M.; VIEIRA, J. P. A.; RADATZ, P.; SOUZA, V. C. & PINHEIRO, D. C.** "Assessing the performance of smart inverter volt-watt and volt-var functions in distribution systems with high PV penetration," 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE), 2018, pp. 1-6.

**WANZELER, T. M.** "Avaliação do Desempenho das Funções de Controle Volt-Watt e Volt-Var em Inversores Fotovoltaicos Integrados nas Redes de Distribuição". Universidade Federal do Pará. Dissertação (Mestrado), Belém, 2018.