



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPL/04

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - VII**

**GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GPL**

**CONTROLE DO DESPACHO DE POTÊNCIA DE GERADORES DISTRIBUÍDOS NA MICRORREDE DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

**Tiago F. Hinterholz\***  
RGE / UFSM

**Priscila S. Ebert**  
UFSM

**Felipe C. Lucchese**  
UFSM

**Criciële C. Martins**  
UFSM

**Maurício perandio**  
UFSM

**RESUMO**

O crescente consumo de energia elétrica aliado a problemas ambientais originou uma série de preocupações relativas ao setor, disseminando novos conceitos e tecnologias. Neste contexto, surgem as microrredes (sistemas capazes de gerenciar despachos de energia de fontes alternativas e convencionais) distribuídas próximas às cargas. Assim, a partir de análises da curva de energia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e simulações feitas no software Open DSS, este estudo propõem a transformação da rede interna da UFSM em uma microrrede inteligente, pretendendo comparar custos básicos de geração de energia com a penalidade imposta na violação do contrato de demanda.

**PALAVRAS-CHAVE**

Sistemas Elétricos, Microrredes, Despacho de Energia, Open DSS

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Perante as grandes mudanças energéticas ocorridas atualmente no contexto mundial, surge a necessidade de diversificar as fontes de geração, bem como as formas que essas fontes são inseridas no sistema. Assim, destaca-se dois conceitos que caminham interligados: geração distribuída e microrredes. O termo geração distribuída (GD) faz referência a uma fonte de geração localizada próxima à carga, entretanto quando se trata de potência instalada existem diversas definições. No Brasil a GD foi definida pelo Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004, que considera a produção de energia oriunda de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, com exceção de empreendimentos hidrelétricos com potência instalada superior a 30 MW e termelétricos com eficiência menor que 75%. Este conceito está diretamente relacionado ao de microrredes, que consiste em um sistema integrado com recursos de energia distribuídos e várias cargas elétricas operando como uma rede única e autônoma, conectada ou não à rede elétrica da concessionária (ALCÂNTARA, 2011). A principal vantagem das microrredes é o aumento da qualidade da energia e da confiabilidade do sistema, devido a descentralização das fontes. Além disso, a proximidade com as cargas reduz a queda de tensão na rede e as perdas de energia, permitindo uma reenergização mais rápida nos períodos de desligamentos. Quando constituídas de fontes renováveis contribuem para a redução das emissões de gases e particulados. Apesar das vantagens citadas, ainda existem problemas relacionados às microrredes, como os altos custos e dificuldades tecnológicas de sistemas de comunicação e controle.

O sistema de controle de despacho centralizado busca otimizar o consumo da microrrede, possibilitando inclusive o ajuste do contrato de demanda e as penalidades no caso de transgressão dos valores contratados, reduzindo ainda mais os custos. Diante disso, o presente estudo propõe a transformação da rede interna de distribuição que energiza a UFSM em uma microrrede inteligente, onde serão analisadas a curva de demanda, curvas de geração a

partir de geradores a biocombustíveis e a capacidade de geração disponível de backup (com geradores instalados em centros internos específicos). Para isso, são utilizadas análises de fluxo de potência do tipo Quasi-Static Time-Series – QSTS no software Open DSS (EPRI, 2013). Segundo Mather, (2012), o termo Quasi-Static se refere ao fato de que a resolução do fluxo de potência estático em regime permanente está sendo efetuado em um sistema não-estático, que sofre variações ao longo do tempo. Já o termo Time-Series está relacionado à dependência temporal da próxima solução do fluxo de potência em regime permanente, que é determinada pela solução obtida na iteração anterior. Assim, busca-se identificar os momentos de pico para programar a geração distribuída a fim de evitar que a demanda contratada seja ultrapassada.

O objetivo dessa microrrede é reduzir os gastos com eletricidade da universidade, que atualmente ultrapassa R\$ 1.000.000,00, e para isso serão utilizados recursos já disponíveis, como por exemplo, geradores a biodiesel e a etanol. Para a produção de combustível que será utilizada no abastecimento dos geradores, a UFSM possui uma micro destilaria de etanol em que aproveita as bebidas apreendidas pela Receita Federal para sua produção. Além da análise do fluxo de potência, feita a partir do *software* Open DSS será feita uma análise dos custos com geração e manutenção dos geradores, combustíveis e investimentos futuros e a quantidade de energia economizada, confrontando este valor com o valor atual da fatura de energia da instituição. Será considerada também a parcela de multa sendo paga pela violação do contrato, comprovando a viabilidade econômica deste projeto.

A seguir, no tópico 2.0 são observadas as preocupações com o meio ambiente e os biocombustíveis que passam a ser utilizados como alternativa a combustíveis que possam trazer um impacto ambiental negativo. No tópico 3.0, tem-se uma visão econômica da proposta da microrrede elaborada para este trabalho visando comparar os custos da operação sem e com inserção de geração distribuída. No tópico 4.0 são apresentadas a rede interna da UFSM e as condições de operação impostas para o estudo proposto. Em seguida no tópico 5.0 são colhidos os resultados e verificado os benefícios dessa proposta. Por fim, no tópico 6.0 são comentadas as conclusões sobre todo o sistema elétrico e como isso interfere na operação em termos técnicos e financeiros.

## 2.0 - UTILIZAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS EM MICRORREDES

Diante da crise do petróleo e as preocupações com o meio ambiente, assuntos muito pautados atualmente, os biocombustíveis passaram a ser considerados uma alternativa aos combustíveis fósseis. Entre as diversas aplicações dos biocombustíveis está a geração de energia elétrica, em substituição aos geradores a diesel. Por ser uma fonte na qual o comburente pode ser armazenado e utilizado quando necessário, é uma excelente alternativa para aplicação em microrredes e em sistemas que necessitam de controle de demanda, contribuindo para aumentar a segurança no suprimento de energia.

Os biocombustíveis são oriundos da biomassa, que pode ser de origem animal ou vegetal. Os mais produzidos no Brasil são o Etanol e o Biodiesel, que utilizam como matéria-prima a cana de açúcar e o óleo de soja, respectivamente (VICHÍ; MANSOR, 2009). O processo de produção do etanol, de forma simplificada, passa pelas etapas de moagem da cana, tratamento do caldo, fermentação e destilação. Já a produção de biodiesel é feita a partir de uma reação química chamada transesterificação, na qual ocorre a transformação de um éster e um álcool em outro éster e outro álcool (MENEGETTI; MENEGETTI; BRITO, 2013).

No presente estudo optou-se por modelar os geradores a etanol, devido ao fato da UFSM possuir uma micro destilaria que, a partir das bebidas apreendidas pela Receita Federal, produz etanol hidratado por um processo de redestilação até atingir 95% de graduação alcoólica. Desta maneira, a microrrede proposta produzirá energia baseada em uma fonte renovável com etanol.

## 3.0 - ANÁLISE ECONÔMICA DA MICRORREDE PROPOSTA

A modelagem desenvolvida para a análise econômica da microrrede foi elaborada a partir da técnica de Dinâmica de Sistemas, que permite a criação de modelos a partir das relações e dos feedbacks entre as variáveis, semelhante ao trabalho de ORTEGOSA (2006). Esse recurso, torna possível realizar simulações considerando cenários em um curto tempo de resposta (ex: intervalo de análise de 15 minutos). O modelo desenvolvido leva em consideração o etanol como combustível dos geradores e o custo de produção calculado a partir do fato de que o valor gasto é somente com a lenha utilizada na caldeira para destilação.

A técnica Dinâmica de Sistemas possui duas abordagens, uma qualitativa e outra quantitativa. A modelagem qualitativa é representada pelo Diagrama de Laço Causal onde são relacionadas as principais variáveis do sistema, enquanto que na quantitativa as equações que regem essas relações são modeladas e o sistema é simulado. Na Figura 1, é apresentado o Diagrama de Laço Causal da modelagem desenvolvida, onde são apresentadas as principais variáveis, suas relações e as realimentações do sistema. O sinal junto a seta representa o incremento ou a redução que uma mudança na variável causa na outra e os círculos representam os *feedbacks* do sistema.



Após a realização da análise econômica da implementação dos geradores foi feito um modelo para o controle do despacho de unidades distribuídas de diferentes tamanhos, definindo quais e quanto tempo ficarão ligados na rede da UFSM. A rede foi modelada e simulada a partir do *software* Open DSS para as análises elétricas QSTS, considerando as curvas de carga do ano anterior, conforme o tópico a seguir.

#### 4.0 - MODELAGEM NO SOFTWARE OPEN DSS

A presente análise considera o fato da rede elétrica da UFSM ser composta por quatro alimentadores que tem seus traçados iniciando na medição em média tensão (MT) localizada na entrada da UFSM. Somente dois alimentadores são utilizados para distribuição de cargas da própria Universidade. Conforme a distribuidora responsável pela rede elétrica externa, a tensão fornecida na referida medição é próximo a tensão nominal (1 pu).

Foi utilizado um dos alimentadores e distribuída toda carga ao longo do trecho, a fim de alocar os geradores nos seus centros específicos, e verificar o fluxo da GD para o restante da rede quando solicitada. Analisou-se a curva de demanda em períodos integrados de 15 em 15 minutos ao longo do mês de abril do ano de 2016, e verificou-se que ocorreram vários excedentes no contrato (5 MW fora ponta e 3 MW ponta). Além disso foi apontado em que momentos ocorreram, qual o valor que ultrapassou e qual o tempo de duração. A Figura 3 e 4 e a Tabela 1 mostram os dados extraídos:

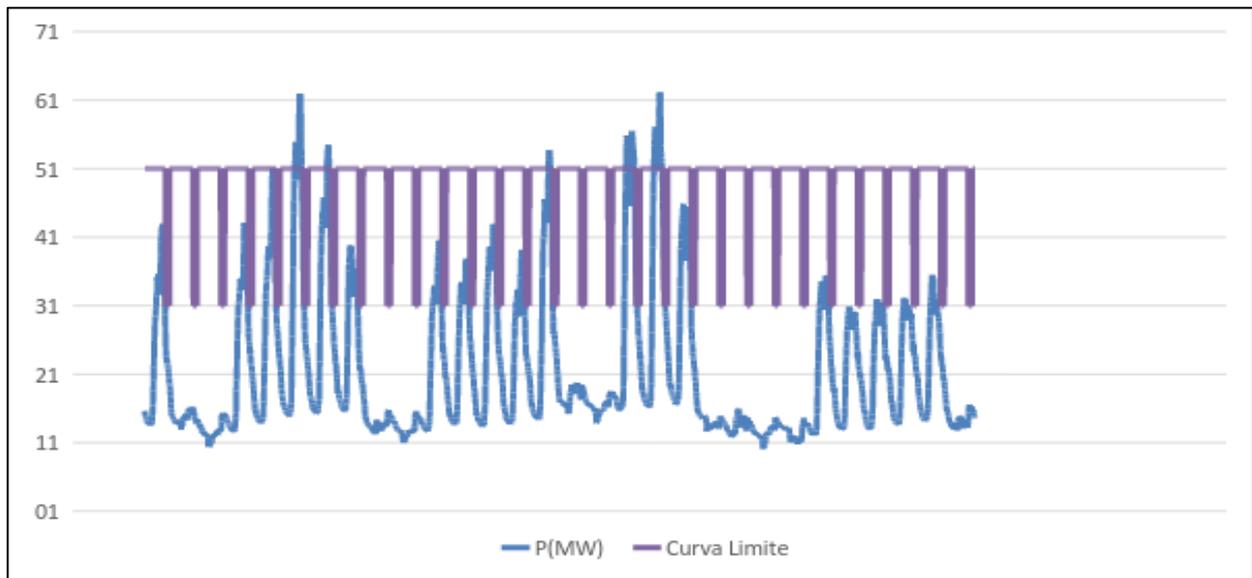


FIGURA 3 - Curva de demanda x Curva de contrato

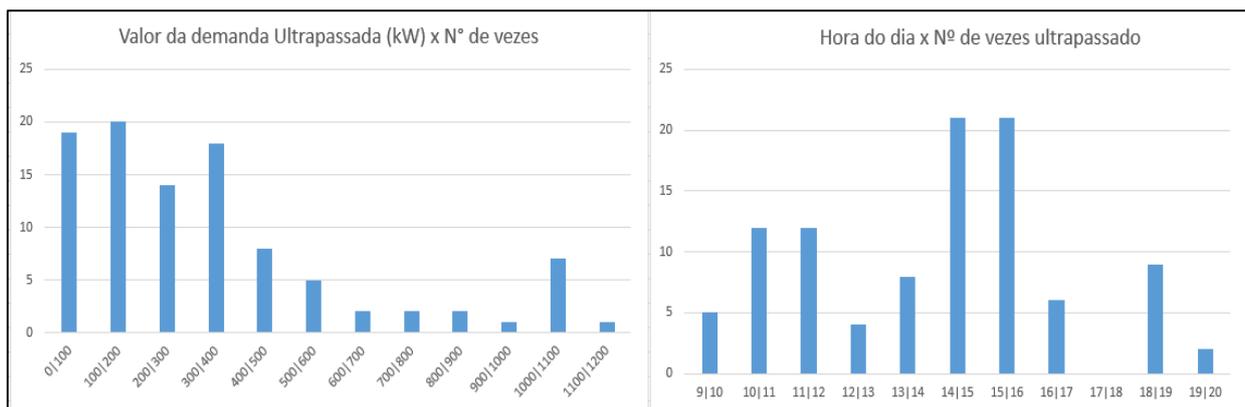


FIGURA 4 – (a) Demanda ultrapassada x nº de vezes e (b) Hora do dia x nº de vezes

A partir dos histogramas acima, e com a quantidade de geração disponível conhecida, tem-se a combinação para definir quais geradores serão ligados e quanto tempo eles ficarão operando. Tem-se como condições de operação, visando evitar o desgaste com ciclos intermitentes de liga/desliga:

- A cada ciclo de 1h (ou 4 períodos de 15 minutos) é verificado a necessidade do gerador permanecer ou não ligado.
- Se o gerador for solicitado a ficar 15, 30 ou 45 minutos ligado e no próximo ciclo de 1h ele não for solicitado, o mesmo é desligado.
- Se no próximo ciclo horário, em algum dos 4 períodos de 15 minutos, o gerador precisar produzir energia novamente, então, mantém-se ligado desde o período anterior até este período, aproveitando sua energia gerada (ou seja, deixando de consumir energia fornecida pela rede de distribuição e passando a absorver energia da microrrede).

Em decorrência disso, temos a Tabela 1 que mostra a quantidade de horas no mês de abril que os geradores disponíveis estiveram em operação:

TABELA 1 - Tabela de tempo de operação

	Potência (kVA)	Tempo Ligado
Gerador HCV	240	1:45
Gerador CPD	360	3:30
Gerador CCS	66	12:30
Gerador CTMO	240	4:15
Gerador P. Socorro	450	7:15
Gerador HUSM	200	12:15
Gerador LAMIC	30	9:15
Gerador Prédio 17	30	11:15
<b>Total</b>	<b>1616</b>	<b>62:00</b>

#### 5.0 - ANÁLISE ELÉTRICA DA MICRORREDE PROPOSTA

A análise da microrrede proposta toma como base a Figura 5 (rede completa interna da UFSM), e é feita com auxílio do *software* Open DSS. Considerou-se um total de dezoito demandas espalhadas ao longo do alimentador escolhido, conectadas cada uma a um transformador de tensão de 13,8/0,38 kV que resultam em um somatório total igual a curva de demanda apresentada na Figura 3. Oito geradores foram conectados um a um no lado de baixa tensão de cada transformador para que quando houver necessidade, forneçam energia para o circuito ou a carga em questão.

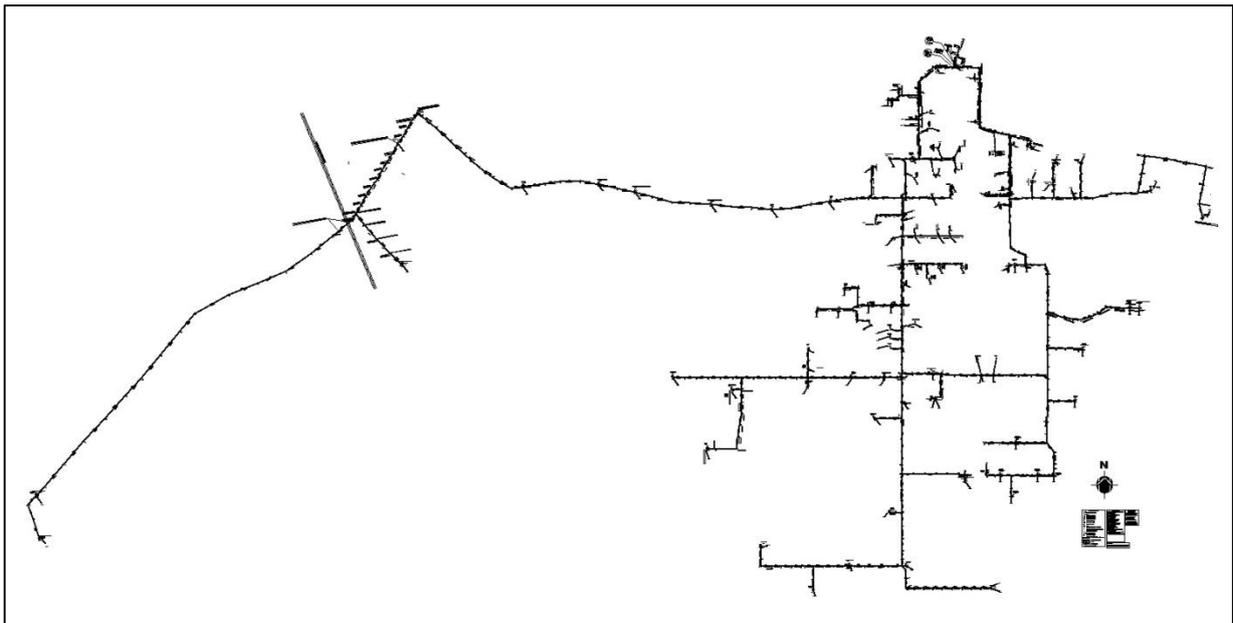


FIGURA 5 - Traçado da microrrede interna da UFSM.

Inicialmente propôs-se uma simulação sem a geração conectada e após, inseriu-se a toda geração condicionada ao comportamento de variação conforme solicitação da carga e condições de operação citados no tópico anterior. Dessa forma, verificou-se os níveis de tensão e corrente em cada carga conforme Tabela 2:

TABELA 2 - Comparação de tensão e corrente antes x depois

	V(pu) s/ GD	V(pu) c/ GD	I(A) s/ GD	I(A) c/ GD
Carga 01	0.98889	0.99086	305.007	296.090
Carga 02	0.97798	0.98080	77.3491	77.287
Carga 03	0.97144	1.00060	400.098	399.875
Carga 04	0.97674	1.00050	167.833	167.493
Carga 05	0.94927	0.95134	132.122	128.979
Carga 06	0.98126	0.98325	207.168	205.414
Carga 07	0.97832	0.98667	62.3216	62.1426
Carga 08	0.97283	0.97434	558.131	557.914
Carga 09	0.97349	0.97387	694.026	676.757
Carga 10	0.97570	1.00050	278.937	278.176
Carga 11	0.97701	0.97968	54.3009	54.1307
Carga 12	0.96505	0.96808	351.381	347.054
Carga 13	0.97669	0.97943	319.871	318.973
Carga 14	0.96559	0.97762	11.5862	11.631
Carga 15	0.98215	1.00030	19.9963	19.325
Carga 16	0.98714	1.00020	10.6794	10.392
Carga 17	0.98047	0.98306	26.9631	26.917
Carga 18	0.97596	1.00050	270.756	264.095

Conforme Tabela 2 é possível fazer algumas considerações com relação ao comportamento do circuito antes e depois:

- As tensões em todas as barras tiveram um pequeno acréscimo. Essa regulação natural é característica quando há a inserção de fontes de geração distribuídas perto dos pontos de análise, aliviando a solicitação da carga da fonte principal e absorvendo mais energia da fonte alternativa.
- Quando o gerador atende somente a carga conectada a sua barra de forma isolada, verifica-se um decréscimo na solicitação de corrente e perdas de energia ao longo do circuito também. Nesse caso são oito geradores atendendo dezoito cargas distribuídas ao longo do alimentador, ou seja, o fluxo de potência auxiliar (GD) soma-se ao fluxo de potência auxiliar, e considerando as cargas como modelo potência constante, o aumento da tensão diminui a solicitação de corrente e consequentemente as perdas de energia.

## 6.0 - CONCLUSÃO

O conceito de microrrede mostrou-se relevante não só pelos benefícios apresentados no início deste artigo, centrados no aumento da qualidade e confiabilidade no fornecimento de energia ao sistema elétrico como também na otimização de recursos financeiros. De forma prática, ao aplicar-se sua definição, verificou-se através das simulações que essa microrrede mostrou-se eficiente no cenário utilizado, para redução de perdas no sistema elétrico além da regulação de tensão nas cargas. Isso tudo alia-se a possibilidade de controlar o consumo e não permitir a ultrapassagem da demanda contratada com a distribuidora, evitando a multa. Então, têm-se os geradores que no caso da UFSM, que estão normalmente ociosos (*backup*), podem ser utilizados com combustível produzido na própria universidade (etanol), tudo isso contribuindo para a autonomia de geração e redução no impacto ambiental.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ALCÂNTARA, M. V. P. Microrredes inteligentes: um novo modelo de negócio para a distribuição de energia elétrica. **Smart grids - Redes inteligentes**, n. Dc, p. 36 – 45, 2011.
- (2) EPRI, The Open Distribution System Simulator: Reference Guide - OpenDss 2013. Disponível em: <<http://svn.code.sf.net/p/electricdss/code/trunk/Distrib/Doc/>>.
- (3) MATHER, B. A. Quasi-static time-series test feeder for PV integration analysis on distribution systems, Proceedings of the 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 22-26 July 2012, San Diego, California, 2012.
- (4) MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C. A reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção do biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 63–73, 2013.
- (5) ORTEGOSA, C. ZATORRE. **Metodologia para estudos da viabilidade econômico-financeira no uso do gás natural em instalações prediais residenciais: uma abordagem via Dinâmica de Sistemas**. Campor Grande, Mato Grosso do Sul: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2006
- VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o brasil no contexto mundial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 757–767, 2009.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Tiago Francisco Hinterholz** é natural de Santa Maria, RS, Brasil. Possui graduação (2015) em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria, mestrado (em andamento) em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. É engenheiro eletricista do planejamento elétrico da RGE. Suas áreas de interesse são: modelagem da operação de sistemas elétricos de potência, geração distribuída e modelagem e otimização da operação e planejamento de sistemas de potência.

**Maurício Sperandio** é natural de Santa Maria, RS, Brasil. Possui graduação em eng. elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (2002), e mestrado (2004) e doutorado (2008) em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. É professor da Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência. Suas áreas de interesse são: redes elétricas inteligentes, modelagem e otimização da operação e planejamento de sistemas de potência.

**Criciele Castro Martins** é natural de Quaraí, RS, Brasil. Possui graduação (2014) em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Pampa, mestrado (2017) e doutorado (em andamento) em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. É professora substituta na Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul. Suas áreas de interesse são: modelagem da operação de sistemas elétricos de potência e redes elétricas inteligentes.

**Priscila Silveira Ebert** é natural de Bagé, RS, Brasil. Possui graduação em engenharia de energia (2013) pela Universidade Federal do Pampa campus Bagé e mestrado em engenharia elétrica (2015) pela Universidade Federal do Pampa campus Alegrete. Atualmente é doutoranda em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. Suas áreas de interesse são: Modelagem do planejamento de sistemas de potência, geração distribuída e microrredes.

**Felipe Cirolini Lucchese** é natural de Santa Maria, RS, Brasil. Possui graduação em engenharia elétrica (2016) pela Universidade Federal de Santa Maria. Atualmente mestrando em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. Suas áreas de interesse são: Confiabilidade de Sistemas Elétricos de Potência.