



# Flexibilização do Horário Irrigante: Uma Estratégia Sustentável para Redução de Perdas e Otimização do Sistema Elétrico

**Tema:** Planejamento da Expansão

**Autores:** Marcos Fernando Barbosa dos Santos; André Modenesi Nascimento; Fabiano Luís Franco

**Co-Autores:** -

**Empresa:** Empresa Luz e Força Santa Maria S/A

## Resumo

O Projeto de Flexibilização do Horário Irrigante foi desenvolvido pela Santa Maria (ELFSM), distribuidora de energia elétrica do Espírito Santo, para mitigar os desafios operacionais decorrentes do consumo concentrado em horários noturnos no setor de irrigação. A iniciativa, fundamentada no art. 186, § 2º da REN 1000/2021 da ANEEL, promoveu a redistribuição de horários de irrigação incentivando o uso diurno alinhado à geração fotovoltaica. Os principais resultados incluem redução de picos de demanda, estabilização dos níveis de tensão, diminuição das perdas técnicas e postergação de investimentos em infraestrutura. Simulações realizadas com o software OpenDSS demonstraram a viabilidade técnica e econômica do projeto. A iniciativa destaca-se como uma solução inovadora e sustentável para desafios do setor elétrico, contribuindo para a eficiência operacional, sustentabilidade e desenvolvimento regional.

## 1. Introdução

A Santa Maria, distribuidora de energia elétrica que atende 11 municípios no estado do Espírito Santo, enfrentava, em 2023, desafios operacionais significativos devido à concentração da demanda elétrica no setor de irrigação, especialmente durante o período noturno. Este consumo concentrado representava impactos críticos na operação do sistema elétrico, exigindo soluções inovadoras para melhorar a qualidade do fornecimento e a eficiência do sistema. Em resposta, foi desenvolvido o **Projeto de Flexibilização do Horário Irrigante**, que propôs uma redistribuição do horário de irrigação, oferecendo uma alternativa no período diurno.

A disponibilização de um novo horário para irrigação está em conformidade com o art. 186, § 2º da Resolução Normativa nº 1000/2021 da ANEEL, que permite às distribuidoras ajustar os horários de consumo para irrigação de forma a atender às características específicas do sistema elétrico, desde que os consumidores adiram voluntariamente a essa flexibilização. O benefício tarifário concedido para unidades consumidoras destinadas à irrigação, conforme descrito na REN 1000, artigo 186, prevê descontos significativos durante o horário reservado para irrigação. Este benefício é essencial para incentivar práticas agrícolas sustentáveis e para apoiar pequenos e médios produtores rurais em regiões como o Espírito Santo, onde a cafeicultura irrigada desempenha um papel estratégico. No caso da Santa Maria, sua área de concessão está enquadrada no item I do artigo 186, que estabelece uma redução tarifária de 73% para consumidores

do Grupo B (baixa tensão) e de 90% para consumidores do Grupo A (média e alta tensão) durante os horários predefinidos, consolidando um modelo econômico acessível e eficiente para a operação agrícola. O projeto trouxe uma série de benefícios ao sistema elétrico e aos consumidores, que podem ser destacados:

- **Redução do pico de demanda:** Como destacado por Silva e Santos (2021), a redistribuição da carga elétrica em horários não coincidentes reduz a sobrecarga no sistema, melhorando sua eficiência e operação. O deslocamento da demanda de irrigação para o período diurno resultou em uma significativa diminuição nos picos noturnos.
- **Melhoria nos indicadores de qualidade de energia:** De acordo com Normas de Qualidade de Energia Elétrica da ANEEL (2023), níveis de tensão estáveis são essenciais para a satisfação dos consumidores e para o funcionamento do sistema. O projeto reduziu a concentração de carga em determinados horários, permitindo a estabilização dos níveis de tensão em áreas críticas.
- **Redução das perdas técnicas:** Segundo estudos de Perda de Energia em Redes Rurais (Alves e Rodrigues, 2022), a diminuição da demanda reduz diretamente as perdas técnicas em sistemas de distribuição extensos. O projeto demonstrou, por meio de simulações detalhadas, que a redistribuição da carga resultou em menores perdas ao longo da rede.
- **Mitigação e postergação de investimentos em infraestrutura:** O adiamento de investimentos foi possível ao aliviar a sobrecarga do sistema existente, reduzindo a necessidade de reforços ou expansões imediatas. Essa estratégia, conforme observado por Garcia et al. (2020), é uma abordagem eficiente para otimizar custos operacionais.
- **Redução do fluxo reverso de energia:** Incentivar o consumo diurno, coincidente com o pico de geração fotovoltaica, ajudou a reduzir o impacto do fluxo reverso de energia, que é um desafio crescente em sistemas com alta penetração de geração distribuída (ANEEL, 2023).

A irrigação diurna, incentivada pelo Projeto de Flexibilização do Horário Irrigante, traz benefícios significativos tanto para os cultivos agrícolas quanto para os pequenos agricultores. Do ponto de vista técnico, a irrigação durante o dia permite um monitoramento mais eficaz das condições do solo e do clima, otimizando a aplicação da água e resultando em maior eficiência no uso dos recursos hídricos. Segundo Costa e Oliveira (2021), a prática da irrigação diurna está associada a um melhor controle do processo de irrigação, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola, especialmente em culturas como o café, onde a uniformidade na aplicação de água é fundamental para a qualidade do grão.

Além disso, a irrigação diurna beneficia diretamente os pequenos agricultores, ao eliminar a necessidade de realizar manutenções e ajustes nos sistemas de irrigação durante a madrugada. Essa mudança reduz o desgaste físico e melhora a qualidade de vida desses produtores, que podem organizar suas atividades de forma mais equilibrada.

Além desses benefícios, o projeto incluiu uma etapa fundamental de simulações para avaliar a redução das perdas técnicas no sistema elétrico. Os modelos empregados analisaram o impacto da redistribuição de carga em diferentes cenários de operação, demonstrando ganhos operacionais e econômicos significativos. As simulações reforçaram a viabilidade técnica da proposta e destacaram como a iniciativa contribui para a sustentabilidade do sistema elétrico.

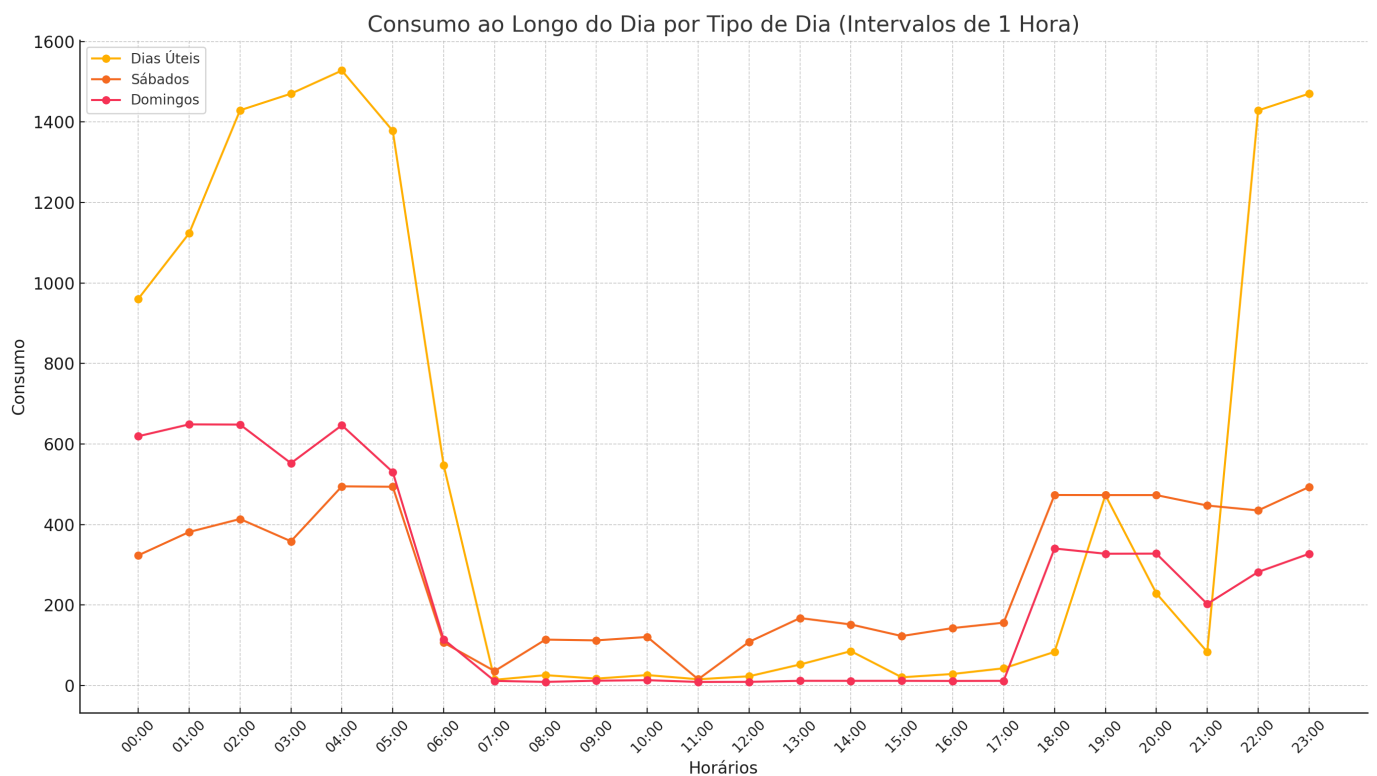
Dessa forma, o Projeto de Flexibilização do Horário Irrigante se apresenta como uma solução eficiente e inovadora para enfrentar os desafios de distribuição de energia em regiões rurais com alta demanda por irrigação. A seguir, este artigo detalha a metodologia aplicada, os investimentos realizados e os resultados obtidos.

## 2. Desenvolvimento

### 2.1. Diagnóstico Inicial

O diagnóstico inicial do **Projeto de Flexibilização do Horário Irrigante** foi estruturado com base em estudos detalhados e simulações realizadas para compreender os impactos da concentração de demanda no setor de irrigação sobre o sistema elétrico da Santa Maria. Em 2023, os clientes cativos da classe Rural representavam 40% do consumo total e número de consumidores irrigantes na área de concessão era de 9.689, e o consumo concentrado durante o período noturno gerava picos significativos de carga, comprometendo tanto a qualidade do fornecimento quanto a eficiência operacional. Essa situação acarretava níveis de tensão insatisfatórios em localidades críticas, perdas técnicas elevadas e uma necessidade crescente de investimentos para reforço da infraestrutura. A análise inicial teve como objetivo identificar as melhores estratégias para mitigar esses problemas.

Gráfico 1 – Curva de carga dos consumidores irrigantes 2022 (21:30 às 06:00)



Fonte: Elaboração Própria

O Gráfico 1 representa a curva de carga dos consumidores irrigantes antes da realização do projeto, como é possível observar, existe uma concentração de carga no período compreendido entre às 18:30 até às 05:00.

Para a realização do diagnóstico, foram realizadas simulações utilizando o software **OpenDSS** (Open Distribution System Simulator), reconhecido pela sua precisão em modelar redes elétricas e avaliar impactos em sistemas de distribuição. Três cenários de migração de consumidores irrigantes para o período diurno foram simulados, conforme tabela 01. A escolha desses cenários visava compreender, de maneira gradual, o potencial de redução das perdas técnicas e os benefícios associados à redistribuição da carga no sistema. Estudos como os de Alves e Rodrigues (2022) destacam que a concentração de consumo em horários

específicos é uma das principais causas de perdas técnicas em sistemas rurais, especialmente aqueles com redes extensas e cargas predominantemente agrícolas.

*Tabela 01 – Redução das Perdas por Adesão*

Adesão 30%		
Perda Técnica Original (kWh)	Perda Técnica Adesão (kWh)	Original x Adesão
55.087,37	53.318,73	-3,21%

Adesão 50%		
Perda Técnica Original (kWh)	Perda Técnica Adesão (kWh)	Original x Adesão
55.087,37	52.953,90	-3,87%

Adesão 70%		
Perda Técnica Original (kWh)	Perda Técnica Adesão (kWh)	Original x Adesão
55.087,37	53.192,36	-3,44%

Fonte: Elaboração Própria

As simulações realizadas com o **OpenDSS** demonstraram que a redistribuição da carga para o período diurno poderia gerar impactos significativos na redução das perdas técnicas, conforme vista na tabela 01. Isso ocorre porque, ao diminuir os picos de corrente no sistema, as perdas resistivas nos condutores também são reduzidas. Além disso, a migração de carga para horários alternativos contribui para estabilizar os níveis de tensão em localidades críticas, atendendo aos padrões regulatórios de qualidade de energia descritos pela ANEEL. Outro benefício identificado foi a mitigação do fluxo reverso de energia, especialmente em áreas com alta penetração de geração fotovoltaica. Ao aumentar a carga de consumo durante o período de maior geração de energia solar, o projeto equilibra o sistema e minimiza os impactos operacionais nas fronteiras da rede.

Os resultados preliminares indicaram, ainda, que a redistribuição da carga tem o potencial de reduzir ou postergar investimentos em infraestrutura, já que o alívio nas condições de operação da rede existente evita a necessidade de expansões imediatas. Garcia et al. (2020) reforçam que estratégias como essa, que otimizam o uso de recursos já instalados, são economicamente vantajosas e contribuem para a sustentabilidade do sistema.

Dessa forma, o diagnóstico inicial confirmou a viabilidade técnica e econômica do projeto, demonstrando que a flexibilização do horário irrigante é uma solução eficaz para enfrentar os desafios operacionais e de qualidade de energia na área de concessão da Santa Maria. As simulações realizadas embasaram as decisões de planejamento e implementação, destacando o impacto positivo da redistribuição de carga na eficiência e confiabilidade do sistema elétrico.

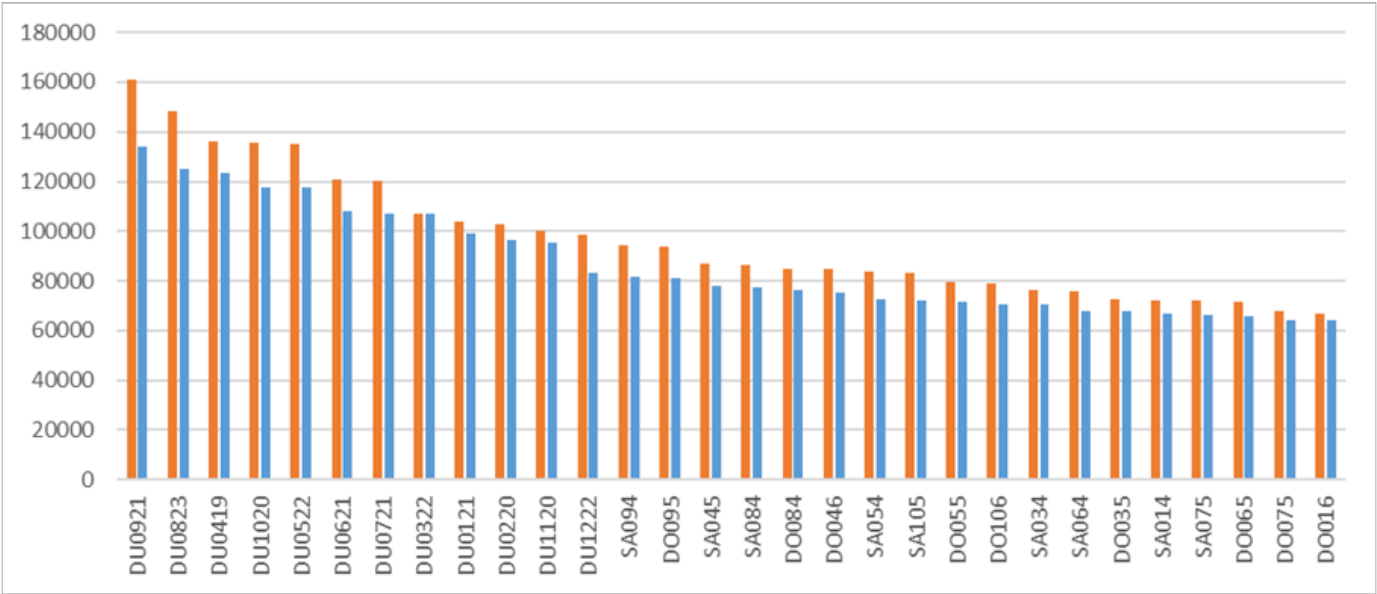
## 2.2. Benefícios esperados

O **Projeto de Flexibilização do Horário Irrigante** apresenta uma série de benefícios esperados que vão além da redução dos picos de demanda e se estendem para a melhoria geral da operação e sustentabili-

dade do sistema elétrico da Santa Maria. Esses benefícios foram identificados a partir de análises teóricas e simulações práticas realizadas durante o diagnóstico e planejamento do projeto, consolidando-se como impactos positivos tanto para a distribuidora quanto para seus consumidores.

Entre os principais benefícios destaca-se a **redução do pico de demanda**, que era concentrado principalmente no período noturno devido às práticas de irrigação. Essa concentração comprometia a eficiência do sistema, sobrecarregando transformadores e redes de distribuição em horários críticos. Conforme Gráfico 02, a redução do pico de demanda poderá chegar até 18% com a migração dos consumidores irrigantes para o período diurno, o sistema é aliviado nos momentos de maior utilização, proporcionando maior equilíbrio no fluxo de energia. Segundo Silva e Santos (2021), a redistribuição de carga é uma estratégia comprovada para mitigar sobrecargas em sistemas elétricos, aumentando sua vida útil e reduzindo os custos operacionais associados a manutenções emergenciais.

Gráfico 02 – Redução de Pico de Demanda (kW)



Fonte: Elaboração Própria

Outro benefício significativo é a **melhoria nos indicadores de qualidade de energia**, particularmente nos níveis de tensão. Em localidades com alta densidade de consumidores irrigantes, a concentração de carga gerava quedas de tensão que não atendiam aos padrões regulamentares estabelecidos pela ANEEL. Com a redistribuição da carga para horários alternativos, as simulações indicaram uma estabilização nos níveis de tensão, garantindo um fornecimento mais confiável e satisfatório. Essa melhoria não apenas beneficia os consumidores, que passam a contar com energia de melhor qualidade, mas também reduz os índices de reclamação e insatisfação, conforme destacado por Garcia et al. (2020) em estudos sobre qualidade de energia em áreas rurais.

A **redução das perdas técnicas** é outro impacto positivo direto da flexibilização. As perdas técnicas, resultantes da dissipação de energia em condutores e transformadores, são amplificadas em sistemas que operam próximos de sua capacidade máxima. Como demonstrado por Alves e Rodrigues (2022), a redução da demanda em horários críticos diminui a corrente elétrica na rede, reduzindo proporcionalmente as perdas técnicas. Isso representa não apenas ganhos operacionais, mas também contribuições significativas para a sustentabilidade, uma vez que menos energia precisa ser gerada e transportada para atender à mesma demanda.

Adicionalmente, o projeto permite a **mitigação e postergação de investimentos em infraestrutura**. Sem a flexibilização do horário irrigante, a necessidade de investimentos em reforço e expansão da rede seria inevitável para suportar a carga crescente em horários de pico. Com a redistribuição de carga, esses investimentos podem ser adiados ou até mesmo evitados, gerando economias substanciais para a distribuidora e seus consumidores. Conforme Brown (2021), estratégias que adiam investimentos em infraestrutura são fundamentais para a gestão eficiente de recursos em sistemas elétricos, especialmente em mercados rurais onde as margens operacionais podem ser mais restritas.

Por fim, o projeto também aborda um desafio emergente em sistemas com alta penetração de geração distribuída: o **fluxo reverso de energia**. Ao incentivar a irrigação no período diurno, quando a geração fotovoltaica atinge seu pico, o consumo local é aumentado, reduzindo o excesso de energia que precisaria ser exportado para a rede. Isso beneficia o sistema como um todo, minimizando os impactos negativos do fluxo reverso, como elevações indesejadas de tensão nas fronteiras da rede. Estudos recentes destacam a importância de estratégias que integrem melhor a geração distribuída ao consumo local, maximizando os benefícios para ambos os lados (EPRI, 2018).

Em suma, o **Projeto de Flexibilização do Horário Irrigante** promove um conjunto integrado de benefícios que reforçam a eficiência, sustentabilidade e qualidade do sistema elétrico da Santa Maria. Além disso, ao alinhar estratégias operacionais às demandas específicas dos consumidores rurais, o projeto demonstra um compromisso com a inovação e o desenvolvimento sustentável, proporcionando uma base sólida para o crescimento econômico regional.

### 3. Conclusão

O Projeto de Flexibilização do Horário Irrigante provou ser uma solução inovadora e replicável para abordar os desafios operacionais enfrentados pelos sistemas de distribuição. Ao realocar a demanda de irrigação o projeto alcançou melhorias significativas na eficiência, confiabilidade e sustentabilidade do sistema. Na Tabela 02, observa-se que a adesão ao projeto, após sua conclusão, foi de 45,43%.

*Tabela 02 – Adesão por município*



Município	Total Irrigantes Início	Total de Solicitações	% Adesão
Governador Lindenberg	1640	770	46,95%
Águia Branca	923	494	53,52%
Santa Teresa	324	107	33,02%
São Domingos do Norte	525	535*	101,90%
São Gabriel da Palha	1411	772	54,71%
São Roque do Canaã	427	220	51,52%
Vila Valério	443	215	48,53%
Marilândia	969	629	64,91%
Alto Rio Novo	245	116	47,35%
Pancas	1159	544	46,94%
Colatina	1623	0**	0,00%
Total	9689	4402	45,43%

Fonte: Elaboração Própria

*\* No município de São Domingos do Norte, houve um aumento na quantidade de consumidores com benefício de irrigação durante a execução do projeto.*

*\*\* O município de Colatina apresentou adesão de 0%, principalmente devido ao racionamento de água imposto pelo governo estadual durante a execução do projeto, sendo sua implementação planejada para uma segunda etapa.*

O projeto teve início físico em abril de 2023 e foi concluído em novembro de 2023. No início do projeto, a perda total da empresa era de 10,72%. Após a implementação, em dezembro de 2023, essa perda foi reduzida para 9,72%.

Entre as várias ações implementadas para a redução de perdas, os estudos realizados demonstraram que a flexibilização do horário irrigante contribuiu significativamente para esse resultado.

Após as medições da campanha de medidas para revisão tarifária, será possível avaliar de forma detalhada as contribuições do projeto para cada um dos benefícios discutidos neste trabalho.

Embora o projeto tenha sido altamente bem-sucedido, é importante notar que desafios como a adoção do consumidor e a necessidade de monitoramento e avaliação contínuos foram encontrados. Esses desafios foram abordados por meio de programas de divulgação direcionados, incentivos financeiros e o desenvolvimento de um robusto sistema de coleta de dados.

O sucesso deste projeto destaca o potencial para iniciativas semelhantes em outras regiões. Ao replicar este modelo, as concessionárias podem melhorar a confiabilidade e eficiência de seus sistemas, além de apoiar o crescimento da agricultura sustentável. À medida que a comunidade global busca a transição para um futuro energético mais sustentável, projetos como este oferecem um caminho promissor.

## 4. Referências bibliográficas

ANEEL. Resolução Normativa nº 1000, de 7 de dezembro de 2021. Consolidação dos regulamentos de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 6 dez. 2024.

ANEEL. Normas de Qualidade de Energia Elétrica e Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília: ANEEL, 2023.

COSTA, R. F.; OLIVEIRA, M. S. "Eficiência da Irrigação Diurna na Agricultura." Revista de Ciências Agrícolas, v. 19, n. 2, 2021.

EPRI - Electric Power Research Institute. OpenDSS Manual: Overview and Application. Palo Alto: EPRI, 2018.

GARCIA, L. F.; PEREIRA, A. R.; LIMA, J. C. "Otimização de Investimentos em Infraestrutura de Distribuição: Abordagens Práticas." Energy Policy & Management Journal, v. 10, n. 3, 2020.

SILVA, R. T.; SANTOS, V. R. "Gestão de Pico de Demanda em Sistemas Rurais: Estudos e Casos no Brasil." Revista de Energia e Sustentabilidade, v. 12, n. 2, 2021.