



Aplicação do Protocolo Internacional de Medição e Verificação no Projeto Residências Fotovoltaicas da Celesc: Um Estudo de Caso

Tema: Eficiência energética e Educação do uso

Autores: Thiago Jeremias

Co-Autores: Paulo Valdoci Pereira, Willian dos Santos, Manuela Luz Cardoso, Alexandre Rocha Oliseski, Marco Aurélio Giancesini, Marcio dos Santos Lautert

Empresa: Celesc Distribuição S.A

Resumo

O projeto Residências Fotovoltaicas, código ANEEL nº PE-05697-0032/2016, implementou 1.250 sistemas de geração de energia renovável em SC, superando as expectativas da Celesc ao atrair mais de 10 mil inscritos em menos de 48 horas. A grande adesão ao programa demonstrou o forte interesse da população catarinense por soluções de energia solar. Para garantir a qualidade e a eficiência dos sistemas instalados, foi realizada uma Medição e Verificação (M&V) inovadora, seguindo os critérios estabelecidos no PIMVP, mas adaptada para a escala e abrangência geográfica inéditas do projeto no Brasil, o que exigiu ajustes nas planilhas de M&V da ANEEL. A M&V foi realizada com base em 180 amostras, distribuídas por seis mesorregiões de SC, próximas a 22 estações do INMET, e para reduzir efeitos adversos relativos a eventos climáticos as amostras ficaram na média de 7,9 km das estações. O projeto levou em consideração as variáveis radiação solar e radiação solar e temperatura como principais fatores na geração de energia. Foram desenvolvidas doze equações de regressão linear, duas para cada região. Os modelos apresentaram fortes correlações, com R^2 superior a 0,76 e valores de estatística t superiores a 2, indicando a precisão das estimativas e a efetividade do processo de M&V aplicado.

1. Introdução

O presente trabalho, descreve a aplicação de uma metodologia de Medição e Verificação (M&V) para o projeto de Eficiência Energética PE-05697-0032/2016 - Residência Fotovoltaica 1, implementado pela Celesc Distribuição S.A. entre o período de 30/05/2016 e 04/03/2020.

Este projeto faz parte do Programa de Eficiência Energética da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e executado Celesc e teve como objetivo a substituição de lâmpadas ineficientes e incentivar a instalação de sistemas fotovoltaicos em residências, visando à redução do consumo de energia elétrica e à promoção do uso de fontes renováveis. Inicialmente, o projeto previa subsídios para a instalação de 1.000 sistemas fotovoltaicos (SFV) e 5.000 lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas por lâmpadas de tecnologia LED (*Light Emitting Diode* – Diodo Emissor de Luz).

Devido ao grande sucesso da iniciativa e à alta demanda por parte da população, o escopo do projeto foi expandido para contemplar 1.250 sistemas fotovoltaicos (SFV) e 6.250 lâmpadas LED. A receptividade foi

tão expressiva que, logo após a abertura das inscrições, as vagas destinadas à região de Florianópolis se esgotaram em menos de 8 minutos. Esse resultado demonstrou de forma clara o elevado interesse da população catarinense por soluções sustentáveis de geração de energia, evidenciando a crescente conscientização sobre a importância da eficiência energética e o potencial das fontes renováveis no estado. A metodologia de M&V aplicada ao projeto foi desenvolvida de acordo com as diretrizes do PIMVP (Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance) (EVO, 2012), e um conjunto de regras e práticas estabelecido pela ANEEL (PROPEE, 2021) para assegurar a medição precisa e a verificação dos resultados de projetos de eficiência energética. Esta abordagem pioneira foi fundamental para validar o impacto real dos sistemas fotovoltaicos implantados, garantindo que os objetivos de redução do consumo e aumento da geração de energia renovável fossem alcançados.

Além disso, o trabalho conta com a contribuição valiosa do Dr. Agenor Garcia, professor e entusiasta da área de Eficiência Energética, cuja participação voluntária foi fundamental para o desenvolvimento e validação das metodologias aplicadas. O relatório final e as planilhas do OPEE (Observatório do Programa de Eficiência Energética) resultantes deste trabalho (OPEE, 2020) constituem um marco importante para o campo da Eficiência Energética no Brasil, fornecendo dados e análises cruciais para a evolução de práticas de M&V no país.

Este estudo também se configura como uma homenagem póstuma ao Dr. Agenor Gomes Pinto Garcia, professor, orientador e amigo que nos deixou em fevereiro de 2023. Sua contribuição para o desenvolvimento de teorias e práticas na área de Eficiência Energética é inestimável, e sua memória é celebrada por meio deste trabalho, que além de sua participação voluntária no desenvolvimento da metodologia aplicada, buscou dar continuidade à sua missão de promover um futuro mais sustentável e eficiente em termos de consumo energético (GARCIA, 2023).

2. Desenvolvimento

2. Objetivo

Implementação de um plano de Medição e Verificação (M&V) aplicado a um projeto com substituição de lâmpadas ineficientes e a geração distribuída de grande vulto, com área geográfica com distintos comportamentos de radiação e temperatura com desafio de estabelecer equações com qualidade para fins de apuração de resultados; com o intuito de reduzir o consumo de energia elétrica e a demanda durante o período de ponta tarifária

Determinação da metodologia inicial a partir de conhecimento teórico, análise de histórico e confirmação a respeito da acuracidade de dados e de geração e das informações possíveis de obter nas estações meteorológica cientes da grande necessidade de aquisição de dados e processamento de informação.

3. O projeto Bônus Fotovoltaico

O projeto Residência Fotovoltaica 1, tipologia residencial e modalidade de projeto convencional, teve como principal objetivo promover ações de eficiência energética em instalações residenciais por meio da substituição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas de alto consumo por lâmpadas LED, além de subsidiar a instalação de sistemas fotovoltaicos. Do valor de investimento de R\$ 16,7 milhões referente aos sistemas fotovoltaicos, 60% foram pagos pela Celesc Distribuição S.A mediante a conclusão das etapas do projeto. A outra parte 40% ficaram por conta da transação comercial entre a empresa Contratada e a Unidade Consumidoras, ou seja, 40% do custo do equipamento era Contrapartida do consumidor. Para as lâmpadas LED, a Celesc Distribuição S.A pagou 100 % dos materiais, na figura 1 são destacadas algumas residências conclusão da instalação.

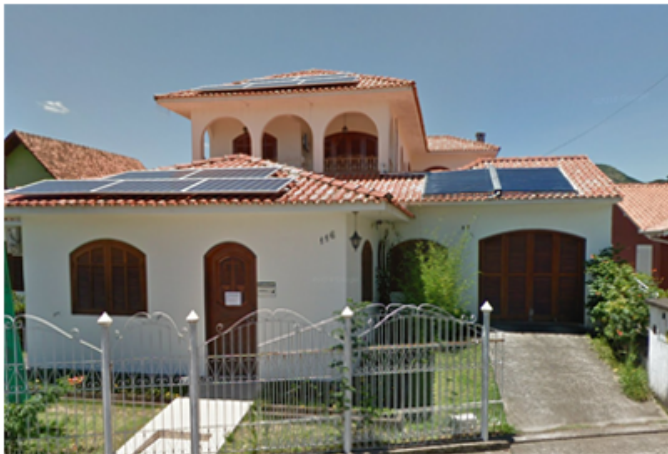


Figura 1 – Sistema instalado no Planalto Serrano.

Essas iniciativas visavam não apenas à economia de energia elétrica, mas também à redução da demanda no período de ponta tarifária, contribuindo para a otimização do uso da energia no sistema elétrico.

Os sistemas de iluminação ineficientes foram substituídos por 6.250 lâmpadas de tecnologia LED adequando assim os ambientes residenciais e o SFV instalado eram compostos por 10 módulos de 260W com uma potência instalada total de 2,6kWp, e 1 inversor 2,5kW, sendo que o inversor compatível com os módulos fotovoltaicos apresentados, e extraídos o máximo de potência fornecida pelos módulos, constando uma das soluções mais eficientes disponíveis à época. Todos os equipamentos foram apresentados catálogos técnicos do fabricante identificando a vida útil conforme edital de chamada pública do projeto, e deveriam atender os Requisitos para a Conexão de Micro ou Mini Geradores de Energia (CELESC, 2020), e o Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição (CELESC, 2019).

3.1 Ação complementares ao projeto

Além da implementação dos sistemas fotovoltaicos e da substituição das lâmpadas ineficientes por LEDs, o projeto Bônus Fotovoltaico contou com a realização de diversas ações complementares que foram essenciais para maximizar seus resultados e garantir a efetividade da iniciativa.

Uma dessas ações foi a criação de uma estratégia de marketing, que teve como objetivo divulgar amplamente os benefícios do programa e engajar os consumidores. A divulgação foi realizada por meio de diferentes canais, incluindo mídias digitais (site do projeto - <http://bonusfotovoltaico.celesc.com.br/>), materiais impressos (folder do projeto) e eventos presenciais (Workshop), com o intuito de alcançar um público amplo e incentivar a adesão ao projeto. Na figura 2 é apresentado reportagem em rede televisiva divulgando o projeto.



Figura 2 – reportagem televisiva do projeto (G1 SC, 2017).

Essa abordagem foi fundamental para o sucesso do programa, pois ajudou a sensibilizar a população sobre a importância da eficiência energética e da utilização de fontes renováveis de energia, aumentando o interesse e a participação no projeto.

Outra ação importante foi a realização de treinamentos para os consumidores e comunidade em geral. Esses treinamentos garantiram que todos os envolvidos no processo tivessem o conhecimento necessário sobre a implementação das tecnologias envolvidas nos equipamentos, além de orientar sobre o suporte aos problemas que podem vir a acontecer, na figura 3 é apresentado uma das etapas.



Figura 3 – Descarte de Lâmpadas (os autores, 2024).

A capacitação das equipes também assegurou a qualidade dos serviços prestados, proporcionando aos consumidores uma experiência positiva com o uso dos sistemas e incentivando a continuidade do uso das tecnologias de maneira eficiente e sustentável.

Além disso, o projeto contemplou ações relacionadas ao descarte adequado dos equipamentos antigos, como as lâmpadas incandescentes e fluorescentes conforme as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, garantindo que esses itens não voltassem a ser reutilizados, figura 4.



Figura 4 – Descarte de Lâmpadas (os autores, 2024).

O descarte responsável de lâmpadas e outros componentes antigos foi fundamental para minimizar o risco de contaminação e assegurar que os resíduos fossem reciclados ou tratados de maneira apropriada. Essas ações complementares demonstraram o compromisso do projeto com a sustentabilidade em todas as suas etapas, desde a implantação até o descarte final dos materiais, refletindo um esforço integrado para promover a eficiência energética e reduzir o impacto ambiental de forma abrangente.

4. Medição e Verificação de resultados do SFV

Diante do caráter inovador do projeto, que foi um dos primeiros projetos dessa magnitude com geração fotovoltaica residencial no Brasil, existia pouca ou nenhuma literatura que desse subsídio para a aplicação dos conceitos de Medição e Verificação, o que tornou a atividade ainda mais desafiadora, o resultado obtido uma grande conquista para o segmento. Registra-se aqui as importantes contribuições do Dr. Agenor Garcia, grande professor e entusiasta do tema, que participou de forma consultiva para que a Equipe da Celesc e 5EC Engenharia Ltda. pudessem aplicar de forma correta os conceitos estabelecidos no PIMVP. O documento completo identificando todas as etapas dos cronogramas do projeto, encontra-se disponível no Observatório do Programa de Eficiência Energética (OPEE,2020).

4.1 Ação de eficiência energética: Geração – SFV

Para a realização do processo de M&V dos sistemas de geração fotovoltaicos foi adotado a Opção B do PIMVP, onde foi adotada como variável independente a Radiação Solar (KJ/m^2) e também temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Considerando as diferenças climáticas do estado de Santa Catarina, o estado foi dividido em seis mesorregiões climáticas, figura 5, sendo essas: 1 – Grande Florianópolis (média: $4,45 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$), 2 – Norte (média: $4,4 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$), 3 – Oeste (média: $5,0 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$), 4 – Planalto (média: $4,8 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$), 5 – Sul (média: $4,45 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$) e 6 – Vale do Itajaí (média: $4,4 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$).

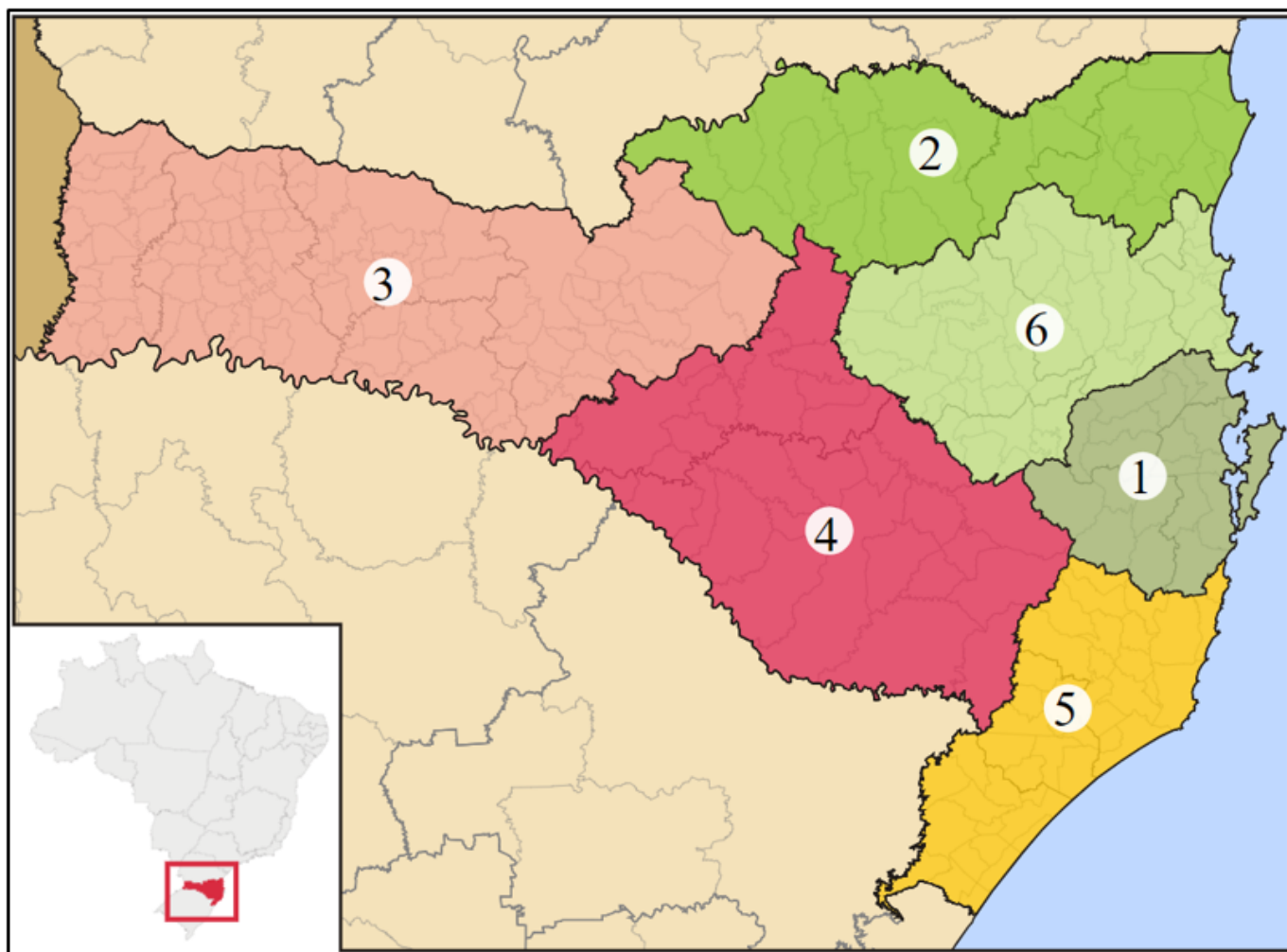


Figura 5 – Mesorregiões climáticas de SC (Rodrigues, 2006).

Para atender os parâmetros do PROPEE de amostragem e medição com confiança de 95% e incertezas relativas aos processos abaixo de 10% foram realizadas 180 amostras de inversores sendo que após qualificação foram aproveitadas 101 amostras (ANEEL, 2024).

Para determinação da geração, foram aplicadas as equações da incidência da radiação diretamente em cada mesorregião, que por sua vez, estavam subdivididas em 22 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia INMET, dispostas no estado de Santa Catarina, tabela 1.

Tabela 1 - Mesorregiões e estações correspondentes

Mesorregião	ESTAÇÃO		Clientes com MV	(MV) Dist. Média Km	SFV instalados
1 - Grande Florianópolis	1	Florianópolis/São José	17	2,4	260
	2	Rancho Queimado	-	-	1
2 - Norte	3	Itapoá	4	21,3	167
	4	Rio Negrinho	8	21,9	82
	5	Major Vieira	2	24,5	3
3 - Oeste	6	Xanxerê	-	-	66
	7	São Miguel do Oeste	7	5,1	51
	8	Joaçaba	7	7,6	47
	9	Caçador	3	4,0	36
	10	Novo Horizonte	1	5,0	11
	11	Dionísio Cerqueira	1	2,0	4
4 - Planalto Serrano	12	Lages	10	2,5	26
	13	Curitibanos	4	2,3	9
	14	São Joaquim	2	1,0	4
	15	Morro da Igreja (B. Jardim da Serra)	-	-	3
5 - Sul	16	Laguna (Farol Sta. Marta)	3	13,7	72
	17	Urussanga	9	16,4	36
	18	Araranguá	1	2,0	18
6 - Vale do Itajaí	19	Indaial	10	3,8	201
	20	Itajaí	8	8,3	111
	21	Ituporanga	3	4,3	32
	22	Rio do Campo	1	1,0	10
Total Geral			101	7,9	1.250

Fonte: os autores, 2024.

As gerações da amostra para fins de medição e verificação ficaram na média de 7,9 km das estações meteorológicas, ou seja, reduzindo efeitos adversos relativos a eventos climáticos.

Os dados medidos foram agrupados de acordo a cada mesorregião correspondente, e geradas as regressões lineares para as gerações de energia considerando como variáveis independentes: a radiação (kJ/m^2) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Assim, foram obtidas 06 (seis) curvas de regressão para cada região. Esse processo demonstra a complexidade, o esforço computacional e intelectual humano para a obtenção desses resultados.

Os cálculos de economia de energia (geração) considerando somente a radiação como variável independente apresentaram um resultado de energia de 4.352,86 MWh/ano, enquanto que usando a radiação e a temperatura como variáveis independentes, o resultado é de 4.324,12 MWh/ano, ou seja, uma diferença de 0,66% a menos. Desta maneira, foi percebido que a radiação solar explicou de forma predominante os resultados de geração obtidos, tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo das constantes: variáveis independentes Radiação e Radiação e Temperatura.

Var Indep.	Tipo	Meso 1	Meso 2	Meso 5	Meso 4	Meso 3	Meso 6	Total
Radiação	Coef Lin Rad	0,0397692	0,0373382	0,0357930	0,0230127	0,0185615	0,0238742	
	Coef Lin Tem	0	0	0	0	0	0	
	Declividade	0,0005683	0,0005701	0,0005779	0,0005804	0,0006138	0,0005865	
	Estatística t	41,21	38,52	35,94	26,66	27,19	37,13	
	R ² / EP	0,76	0,78	0,80	0,82	0,88	0,84	
	Geração	930,07	820,32	472,21	149,34	812,39	1.68,52	4.352,86
Radiação e Temperatura	Coef Lin Rad	0,3123132	0,1972191	0,2193066	0,1965511	0,1186391	0,1896966	
	Coef Lin Tem	-0,013448	-0,0095365	-0,0098744	-0,0117675	-0,0058295	-0,0087402	
	Declividade	0,0005996	0,0006019	0,0006078	0,0006127	0,0006290	0,0006116	
	Estatística t	68,91	62,11	60,97	79,84	59,77	75,90	
	R ² / EP	0,77	0,78	0,81	0,83	0,88	0,85	
	Geração	930,67	793,00	473,55	150,07	814,33	1.162,50	4.324,12

Fonte: os autores, 2024.

4.2 Validação das medições dos inversores

Uma preocupação dos profissionais CMVP foi com relação a qualidade dos dados fornecidos pelos inversores de frequência. Considerando que era necessário a medição por 12 meses, não havia possibilidade de se deixar um medidor com memória de massa instalado por todo esse período em cada uma das residências. Por isso, foi decidido por realizar um estudo prévio da qualidade das medições. Para isso, forem instalados alguns medidores calibrados, junto aos inversores, e posteriormente comparado os resultados, figura 6.



Figura 6 – inversor e medidor de energia, (os autores, 2024).

Com a comparação entre os dados das leituras de geração obtidas pelos equipamentos: o inversor de fabricação ABB de modelo UNO-3.0.TL-OUTD3.0 KW, o medidor modelo CRONOS 6021L e o medidor modelo *Smart Meter*, foi percebido que o medidor do inversor atende critério de medição de energia elétrica com exatidão igual ou melhor a $\pm 3,0$ proposto pelo fabricante. Portanto, para fins de apuração de relatório de medição e verificação foram os dados de medição do inversor sem nenhum prejuízo ao resultado final.

Entretanto, ao analisar os dados após 12 meses de leitura, foram descartadas 79 amostras que apresentaram problemas na aquisição dos dados, como por exemplo: falta de aquisições, aquisições com valores negativos e aquisições com valores superiores ao nominal do sistema.

4.3 Validação dos dados das estações meteorológicas

Durante o período de obtenção das informações meteorológicas algumas das 22 estações apresentavam falhas nos registros de aquisição de dados, desta maneira, para a reposição destes intervalos faltantes eram utilizados os dados das estações mais próximas que viriam a servir de base para a manutenção dos intervalos com problema. Foram selecionadas três opções de estações para servirem de base para os ajustes, priorizando a estação com menor distância, conforme tabela 3.

Tabela 3 – Distância entre as estações meteorológicas em SC.

ESTAÇÃO CÓDIGO INMET	OPÇÃO 01	OPÇÃO 02	OPÇÃO 03
Araranguá - A867	Urussanga - A814 - 47,8 km	Laguna (farol Sta. Marta) - A866 - 76 km	São Joaquim - A815 - 84,5 km
Caçador - A859	Curitibanos - A860 - 64,4 km	Joaçaba - A841 - 68,9 km	Major Vieira - A864 - 77,9 km
Curitibanos - A860	Rio do Campo - A861 - 59,9 km	Lages - A865 - 63 km	Caçador - A859 - 64,4 km
Dionísio Cerqueira - A848	São Miguel do Oeste - A857 - 56 km	Novo Horizonte - A816 - 79,1 km	Xanxerê - A858 - 142,6 km
Florianópolis - A806	Rancho Queimado - A870 - 42,4 km	Itajaí - A868 - 73,8 km	Indaial - A817 - 99,8 km
Indaial - A817	Itajaí - A868 - 50,3 km	Ituporanga - 67,5 km	Rio Negrinho - A862 - 80,2 km
Itajaí - A868	Indaial - A817 - 50,3 km	Florianópolis - A806 - 73,8 km	Rancho Queimado - A870 - 85,5 km
Itapoá - A851	Rio Negrinho - A862 - 95,5 km	Itajaí - A868 - 97,4 km	Indaial - A817 - 111,6 km
Ituporanga - A863	Rancho Queimado - A870 - 66,3 km	Indaial - A817 - 67,5 km	Rio do Campo - A861 - 72,7 km
Joaçaba - A841	Caçador - A859 - 68,9 km	Xanxerê - A858 - 87 km	Curitibanos - A860 - 95,3 km

Lages - A865	Curitibanos - A860 - 63 km	São Joaquim - A815 - 65,7 km	Ituporanga - A863 - 80,2 km
Laguna (farol Sta. Marta) - A866	Urussanga - A814 - 49,7 km	Araranguá - A867 - 76 km	Morro da Igreja (Bom Jardim da Serra) - A845 - 84,1 km
Major Vieira - A864	Rio do Campo - A861 - 64,2 km	Caçador - A859 - 77,9 km	Rio Negrinho - A862 - 79,7 km
Morro da Igreja (Bom Jardim da Serra) - A845	São Joaquim - A815 - 47,6 km	Urussanga - A814 - 47,9 km	Rancho Queimado - A870 - 65,8 km
Novo Horizonte - A816	Xanxerê - A858 - 74,3 km	São Miguel do Oeste - A857 - 77 km	Dionísio Cerqueira - A848 - 79,1 km
Rancho Queimado - A870	Florianópolis - A806 - 42,4 km	Morro da Igreja (Bom Jardim da Serra) - A845 - 65,8 km	Ituporanga - A863 - 66,3 km
Rio do Campo - A861	Curitibanos - A860 - 59,9 km	Major Vieira - A864 - 64,2 km	Ituporanga - A863 - 72,7 km
Rio Negrinho - A862	Major Vieira - A864 - 79,7 km	Indaial - A817 - 80,2 km	Rio do Campo - A861 - 95 km
São Joaquim - A815	Morro da Igreja (Bom Jardim da Serra) - A845 - 47,6 km	Lages - A865 - 65,7 km	Urussanga - A814 - 67 km
São Miguel do Oeste - A857	Dionísio Cerqueira - A848 - 56 km	Novo Horizonte - A816 - 77 km	Xanxerê - A858 - 111,2 km
Urussanga - A814	Araranguá - A867 - 47,8 km	Morro da Igreja (Bom Jardim da Serra) - A845 - 47,9 km	Laguna (farol Sta. Marta) - A866 - 49,7 km
Xanxerê - A858	Novo Horizonte - A816 - 74,3 km	Joaçaba - A841 - 87 km	São Miguel do Oeste - A857 - 111,2 km

Fonte: os autores, 2024.

Como exemplo percebido, a estação Joaçaba (A-841), para a reposição de intervalos com defeito foram utilizadas as estações INMET de Caçador (544 intervalos) e Xanxerê (20 intervalos), sendo estas à primeira e a segunda mais próximas respectivamente. E as premissas adotadas: não há intervalos entre às 08h e 17h sem radiação, não há intervalos entre às 21h e 05h com radiação, não há radiação acima de 5.000 kJ/m².

4.4 Esforço computacional

Um dos grandes desafios na obtenção dos resultados foi o esforço computacional e intelectual exigido para o processamento dos dados. Segundo ANEEL (ANEEL, 2024) o PROPEE exige que as medições de

sistemas de geração fotovoltaicos sejam realizadas por um período de 12 meses, ou seja, obtenção de dados no mínimo de 365 dias.

Para este estudo os dados obtidos de integralização da medição dos inversores foram de 15 minutos, portanto, nas 101 amostras totalizaram cerca de 10,5 milhões de registros. Para a análise dos dados das estações meteorológicas, considerando que foi feito estudo de comportamento de 10 anos para verificar tipicidade nos dados da serem aplicado nas regressões, foram tratados mais de 39,7 milhões de registros. O trabalho total para apuração dos resultados de medição e verificação determinaram 581 arquivos e cerca de 18 Gb de informações e planilhas.

Esses dados foram então tratados e obtidos uma curva de regressão para cada uma das seis mesorregiões. A complexidade do procedimento de Medição e Verificação, conforme regulamentação da ANEEL e protocolo de medição e verificação, com o esforço computacional e intelectual de grande monta chegando em 12 nas regressões lineares, 2 para cada uma das mesorregiões, onde 6 (seis) equações formam com a variável independente a radiação (kJ/m²) e 6 (seis) equações, estas geradas a partir de regressões lineares para as gerações de energia considerando como variáveis independentes a radiação (kJ/m²) e temperatura (°C). Ambos casos, com as variáveis independentes radiação e radiação e temperatura, apresentaram um R² maior que 0,76, e valor de estatística t maior que 2 indicando forte correlação entre ambas com os valores medidos.

Como exemplo de apuração, na figura 7, a estação meteorológica de Caçador - A859, com 3 gerações (amostras) associadas.

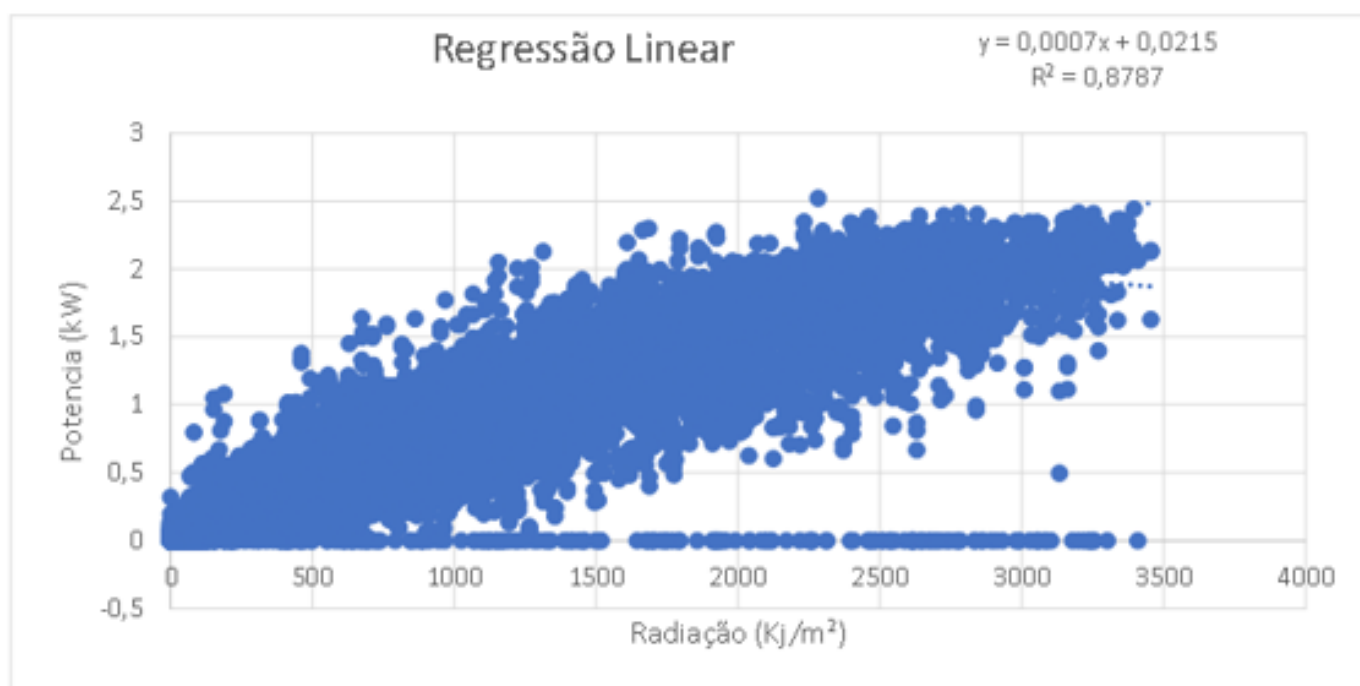


Figura 7 – dados amostrais da estação meteorológica de Caçador - A859 (os autores, 2024).

5. Os benefícios e resultados alcançados

O projeto conseguiu economizar, somados a substituição de lâmpadas de alto consumo de energia por tecnologia LED e implementação de SFV, o valor de 4.627,93 MWh/ano de energia e evitou uma demanda de 126,66 kW durante o período de ponta tarifária. O custo total do projeto foi de R\$ 22.672.929,94, sendo que R\$ 14.320.017,44 (63,1%) foram recursos provenientes do Programa de Eficiência Energética (PEE), e a contrapartida dos beneficiados foi de R\$ 8.352.912,50. A análise da relação custo-benefício (RCB)

mostrou uma excelente performance, com um RCB de 0,10 para a iluminação e de 0,53 para os sistemas fotovoltaicos, resultando em um RCB global de 0,50, refletindo a alta eficácia das ações implementadas.

O plano e relatório de Medição e Verificação do projeto foram conduzidos por profissionais altamente qualificados com certificação CMVP (*Certified Measurement and Verification Professional*), como o gerente de projeto Thiago Jeremias (CMVP ID 6284), da Celesc Distribuição S.A., e os engenheiros Paulo Valdocci Pereira (CMVP ID 3163) e Alexandre Rocha Oliseski (CMVP ID 3165), da 5EC Engenharia Ltda., garantindo a credibilidade e a precisão na avaliação dos resultados do projeto.

O trabalho foi divulgado em diversos fóruns e congressos, com destaques a premiações recebidas no CIERTEC, que é o congresso latino americano de distribuição de energia, e o reconhecimento por meio dos Prêmios Fritz Muller, Eco Brasil AMCHAM, Prêmio OSE e Empresa Cidadã ADVB, figura 8.



Figura 8 – Celesc conquista 1º lugar na categoria Preservação Ambiental (SCHMITT, 2020).

Os conhecimentos obtidos nesse projeto, tornaram-se referências para todos os projetos fotovoltaicos realizados pela Celesc, e estão disponíveis para que qualquer distribuidora do país, possa utilizar desse trabalho para realizar ações semelhantes, o que traz longevidade e possibilidade de replicação desses conceitos em outras empresas.

3. Conclusão

Faz-se necessário enaltecer o trabalho excepcional realizado por esta equipe de profissionais, que, com dedicação e excelência, conduziu uma complexa atividade de medição e verificação processando um imenso volume de dados, mesmo sem contar com sistemas específicos ou automatizados. Demonstrando verdadeira pioneirismo, desenvolveram soluções inovadoras e sob medida, superando desafios técnicos e computacionais significativos. O esforço computacional demandado foi imenso, exigindo criatividade e habilidade para otimizar os recursos disponíveis, resultando em análises precisas e de alta qualidade. Este trabalho é um marco que reflete a competência e o comprometimento de todos os envolvidos.

A medição e verificação (M&V) de resultados para SFV residenciais é fundamental para garantir que as expectativas de geração de energia sejam atendidas e que o desempenho dos sistemas seja otimizado.

Esse processo envolve o monitoramento contínuo da produção de energia, análise de dados e ajustes necessários para garantir a eficiência. A Celesc foi uma das pioneiras na aplicação dos conceitos de M&V em um projeto de grande escala, trazendo inovação ao setor. Ao implementar esse modelo, a Celesc garantiu maior precisão na avaliação dos benefícios econômicos e ambientais, estabelecendo um padrão de referência para a indústria de energia solar no Brasil.

O trabalho realizado se mostrou viável, uma vez que foi atingido os critérios mínimos estabelecidos no PIMVP que foram $R^2 > 0,76$, estatística $t > 2$, logrando êxito nas regressões com as variáveis independentes radiação e radiação e temperatura, ou seja, atendendo os mais rigorosos análises, somente radiação e radiação com correção do efeito temperatura. A metodologia testada e aplicada foi inovadora, tanto na característica do projeto que até então não havia sido aplicado em tamanha escala no Brasil, quanto da necessidade de adequação das Planilhas de M&V ANEEL, que não previam em seus usos finais a geração por fontes incentivadas, o que exigiu dos autores dedicação e adaptação das ferramentas existentes.

O projeto foi ainda um grande propulsor da sustentabilidade por meio de geração por fontes incentivadas, e da economia de energia com a substituição de lâmpadas. Com a economia de energia obtida foi deixado de emitir 310 ton. de CO₂ na atmosfera, o que equivale a retirar de circulação 260 carros e plantar 2.200 árvores. A energia gerada, é suficiente para abastecer 200 mil residências durante um mês. Além disso, destaca-se que o projeto serviu como uma vitrine para a geração fotovoltaica de energia no Brasil, após esse projeto, percebeu-se um aumento significativo na procura e novas instalação de GD no estado de Santa Catarina, tendo em vista que houveram mais de 10 mil interessados, diante de uma disponibilidade de 1250 equipamentos.

Porém, o grande destaque desse case, remete-se a estratégia de M&V, que somente foi possível graças a um trabalho intenso entre Distribuidora e ESCO, mostrando que o projeto era economicamente viável, além da contribuição para a literatura nacional, com um case muito importante e complexo, que agora serve de referência para os demais trabalhos realizados pela Celesc, e outras empresas que possam ter interesse no tema.

4. Referências bibliográficas

- ANEEL. Procedimentos para o Programa de Eficiência Energética ANEEL – PROPEE, REN nº 920 de 23/02/2021. Acesso em 30/11/2024, disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-920-de-23-de-fevereiro-de-2021-*-306209537
- ANEEL. M&V – Guia de Medição e Verificação para o PROPEE – 21/03/2024. Acesso em 30/11/2024, disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-eficiencia-energetica/mv>
- CELESC. Termo de Adesão ao Projeto “Bônus Eficiente – Linha Fotovoltaica. Edital de licitação, novembro 2016. Acesso em 30/11/2024, disponível em: <https://pee.celesc.com.br/chamadas-publicas>
- CELESC. Conexão de micro ou minigerador de energia. CELESC: I-432.0004, outubro 2020, Ver. 05. Acesso em 08/12/2024, disponível em: <https://www.celesc.com.br/conexao-de-micro-ou-minigerador>
- CELESC. Programa de Eficiência Energética da Celesc Distribuição – PEE Celesc. Residências Fotovoltaicas, 2020. Acesso em 08/12/2024, disponível em: <https://pee.celesc.com.br/scripts/visualiza-projeto.php?id=95>
- SCHMITT, Vicente. ADVB/SC realiza 22ª edição do Prêmio Empresa Cidadã em formato híbrido. Publicado, 26/11/2020. Acesso em 08/12/2024, disponível em: <https://www.acif.org.br/acif/advb-sc-realiza-22a-edicao-do-premio-empresa-cidada-em-formato-hibrido/>

- CELESC. N-321.0001 - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição, julho/2019. Acesso em 30/11/2024, disponível em: <https://www.celesc.com.br/padrao-de-entrada>
- EVO. EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION. Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance - Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água. Vol. 1. Jan. 2012. Acesso em: 26/07/2023, disponível em: <http://www.evo-world.org>
- GARCIA, Agenor G.P. M&V Focus - Issue #11 - Tribute to Agenor Gomes Pinto Garcia. Acesso em 08/12/2024, disponível em: <https://evo-world.org/en/news-media/m-v-focus/904-m-v-focus-issue-no-11/1384-agenor-gomes-pinto-garcia-social-and-intellectual-path>
- G1 SC. Celesc abre inscrições para custear parte de mil painéis solares em SC, Divulgado em 20/02/2017. Acesso em 08/12/2024, disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2017/02/celesc-abre-inscricoes-para-custear-parte-de-1-mil-paineis-solares-em-sc.html>
- OPEE. Observatório do Programa de Eficiência Energética. Dados do Projeto - PE-05697-0032/2016 - RESIDENCIA FOTOVOLTÍCA 1, 2020. Acessado em 08/12/2024. Disponível em: <https://siase.aneel.gov.br/webOpee/ProjectRepository/Details/3171>
- RODRIGES. Cícero H. Mesorregiões climáticas de SC, agosto/2006. Adaptado. Acessado em: 08/12/2024. Disponível em: https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SantaCatarina_Mesoregions.svg