

METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ APLICADA A SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Gustavo Malagoli Buiatti – gustavo@alsolenergia.com.br

Rodrigo Latuf de Andrade – rodrigolatuf@alsolenergia.com.br

ALSOL Energias Renováveis S/A

Pedro Camargo Amaral – pedro.amaral@arsustentabilidade.com.br

Julia Viegas Rymer – julia.rymer@arsustentabilidade.com.br

AR Sustentabilidade

Camila Oliveira e Silva Fioranelli – camila@institutoalgar.org.br

Instituto Algar

Resumo. Dados estatísticos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) mostram que a maioria dos consumidores que aderem à geração própria de energia limpa, a geração distribuída (GD) regulamentada pela Resolução Normativa (RN) nº 482/2102, são motivados pelo desenvolvimento sustentável. Muitos destes consumidores desejam quantificar como estão contribuindo com o meio ambiente, através da geração fotovoltaica que no país é a principal fonte de GD utilizada, mas alguns profissionais instaladores da solução não possuem conhecimento específico para tais estimativas. Neste contexto, este artigo tem como objetivo propor um plano de monitoramento de redução de gases contribuintes ao efeito estufa (GEE) aplicado a sistemas de micro geração solar fotovoltaica conectados à rede elétrica no Brasil. Um estudo de caso aplicado a um sistema em operação desde 2012 é apresentado e discutido.

Palavras-chave: Redução de Emissões de CO₂, Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída, Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.

1. MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Atualmente a energia solar fotovoltaica começa a se apresentar como uma fonte que está se tornando realidade e se consolidando no Brasil, principalmente na forma de Geração Distribuída (GD). Este processo se iniciou com a publicação da RN nº 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 17 de abril de 2012 (Aneel, 2013). Desde então, e de acordo com dados da própria ANEEL (Castro, 2015), dados apresentados durante a Audiência Pública 26/2015, que aconteceu no dia 19 de junho de 2015 em Brasília/ DF durante o procedimento de revisão da RN nº 482/2012, há cerca de 670 unidades de geração distribuída conectadas à rede elétrica e valendo-se da possibilidade de compensação, dos quais a fonte fotovoltaica representa 94,3%.

Levando em consideração as 632 unidades fotovoltaicas acumuladas, das quais 98% são unidades de microgeração com potência instalada inferior a 100 kW, e considerando os 10 trimestres de dezembro de 2012 a junho de 2015 que se passaram desde a primeira conexão do Brasil realizada na cidade de Uberlândia-MG, a fonte fotovoltaica apresenta uma Taxa Composta de Crescimento Trimestral (*Compounded Quarterly Growth Rate – CQGR*, em inglês) da ordem de 55% por trimestre. Este número é bem mais expressivo que a Taxa Composta de Crescimento Anual mundial (*Compounded Annual Growth Rate – CAGR*, em inglês) entre 2000 e 2014, que é de 39% ao ano com um total de 178,4 GWp acumulados (Global, 2015) como observado na Fig. 1 e na Fig. 2 respectivamente.

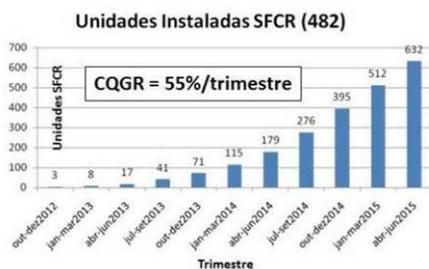


Figura 1 - Fonte: Audiência Pública 26/2015 ANEEL, revisão da REN 482.

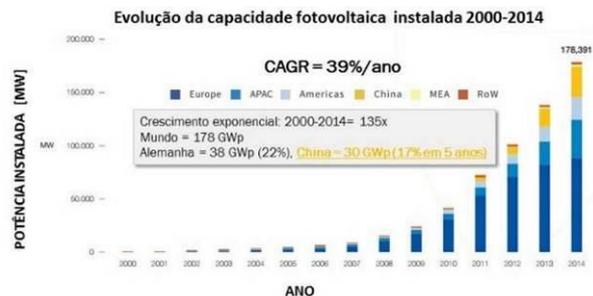


Figura 2 - Fonte: Global Market Outlook for Solar Power 2105-2019 – Solar Power Europe.

Ainda segundo os dados apresentados pela ANEEL (Castro, 2015), a geração distribuída apresentava até então uma potência instalada no escopo da REN 482 de 9,6 MW, sendo 70% desta potência oriunda da fonte fotovoltaica (6,7 MW).

Dois anos após a publicação da RN nº482/2012, em abril de 2014, a ANEEL realizou uma pesquisa com os consumidores que aderiram à GD e constatou que a principal motivação de adesão à geração própria de energia limpa era o desenvolvimento sustentável como pode ser visto pela Fig. 3 (Mattar, 2014). A pesquisa mostrou que 45% das instalações foram motivadas pelo quesito sustentabilidade e que 88% das instalações realizadas até então eram de geradores fotovoltaicos. Este número aumentou, como já apresentado, e em junho de 2015 as instalações de GD realizadas até então de geradores fotovoltaicos já representavam 94,3% do total.

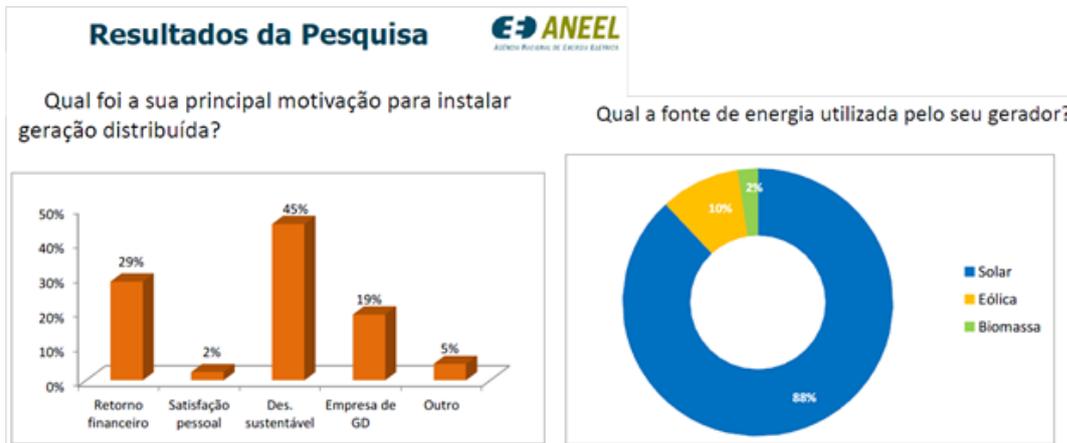


Figura 3 - Avaliação dos resultados da RN nº 482/2012 pela ANEEL em abril de 2014 (Mattar, 2014).

Este comportamento do cidadão brasileiro é perfeitamente compreensível pelo fato que a mudança global do clima é incontestavelmente um dos problemas ambientais mais graves do século XXI. Este problema é causado pela intensificação do efeito estufa, o qual está relacionado ao aumento da concentração de determinados gases na atmosfera terrestre, os “Gases de Efeito Estufa” (GEE). Os GEE e a intensificação da emissão dos mesmos se deve muito às atividades humanas, se destacando a atividade industrial, a queima das florestas, ou a queima de combustíveis fósseis para a geração de energia (Rocha, 2003). Neste contexto, com o objetivo de alcançar maior sustentabilidade, ou seja, buscando o eco desenvolvimento, entrou em vigor em 21 de março de 1994 a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – CQNUMC (UNFCCC, 2015), onde os países chamados desenvolvidos e demais países nesse mesmo contexto integravam o ANEXO I, devendo adotar políticas internas afim de limitar as suas emissões de GEE. Desde então, reuniões anuais entre os países membros da CQNUMC têm ocorrido no sentido de revisar a sua implementação e buscar soluções para o problema da mudança do clima, as chamadas COPs.

Uma das principais metas estabelecidas foi que países do ANEXO I deveriam reduzir as suas respectivas emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis registrados em 1990. Redução essa que seria no período de 2008 a 2012. A partir deste cenário, três mecanismos flexíveis foram estabelecidos pelo Protocolo de Quioto: o Comércio de Emissões, a Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL é o único mecanismo que permite a participação dos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Por meio do MDL, é permitido que projetos elaborados nestes países possam obter benefícios financeiros desde que os mesmos reduzam as atuais emissões de GEE, ou seja, promovam o desenvolvimento sustentável (CGEE, 2008). Tais reduções podem ser quantificadas, os créditos de carbono ou Reduções Certificadas de Emissões (RCE), e posteriormente comercializadas e mercados mundiais, com princípio funcional similar a uma bolsa de valores (Almeida, 2015).

No âmbito do MDL, os projetos propostos são classificados por categorias, de acordo com a atividade praticada. A nível de exemplificação, projetos que evitam a emissão do gás metano produzido em aterros sanitários se enquadram na categoria de manejo e disposição do lixo. Por outro lado, os projetos que promovem a fixação do carbono através do reflorestamento de áreas desmatadas pertencem à categoria de florestamento e reflorestamento. Ao todo, existe um total de 15 categorias de projetos cujo objetivo é classificar as mais diversas atividades que podem ser desenvolvidas dentro do MDL (UNFCCC, 2015).

A Resolução Normativa nº 482/2012 promove diretamente a redução das emissões de CO₂ através da geração de eletricidade a partir do uso das fontes renováveis de energia, sobretudo a fonte solar fotovoltaica, eólica e a biomassa (biogás oriundo de dejetos de suínos, por exemplo), se encaixando no grupo, ou categoria, “setor indústria energética”. Neste contexto uma das premissas adotada neste trabalho é que toda a energia gerada pelos projetos MDL será destinada à rede básica do Sistema Interligado Nacional (SIN), já que a GD é conectada à rede elétrica, ainda que em baixa ou média tensão.

A geração distribuída, especialmente a solar fotovoltaica, é tida por muitos como uma das soluções para a geração de energia elétrica sustentável, através de uma fonte inesgotável e a carbono neutro (não poluente), proporcionando benefícios ambientais e energéticos já que aplicação da tecnologia é uma ação de eficiência energética (Marinoski, 2004). Considerando o potencial de crescimento real de utilização da energia solar fotovoltaica conectada à rede no Brasil, como previamente mencionado nas figuras Fig. 1 e Fig. 2, o cenário nacional de redução de emissões de CO₂ também deve ser impactado significativamente ao reduzir a participação das fontes térmicas poluentes na matriz energética brasileira.

O presente trabalho apresenta uma metodologia de monitoramento e estimativa do CO₂ evitado aplicada a sistemas de micro geração distribuída utilizando energia solar fotovoltaica. A metodologia será aplicada ao caso do primeiro sistema de geração distribuída enquadrado pela RN^o 482/2012 no Brasil, a UFV PGM Sistemas (Buiatti, 2013) em operação na cidade de Uberlândia – MG, instalada com o propósito de reduzir o consumo de energia proveniente da distribuidora, minimizando perdas de transmissão e distribuição de energia, e reduzindo os impactos ambientais associados à geração centralizada de energia elétrica.

2. METODOLOGIA PROPOSTA

As metodologias AMS-ID¹ (Grid Connected Renewable Electricity Generation - Version 18.0) e a AMS-IF² (Renewable Electricity Generation for Captive Use and Mini-Grid - Version 3.0) ligadas ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto (MDL) foram consideradas como referências para a estimativa de redução de emissões. A Fig. 4 e a Fig. 5 ilustram a lógica combinada das metodologias e em qual etapa do processo de produção energética se aplicam.



Figura 4 - Concepção da obtenção de energia sem o projeto de micro geração fotovoltaica.

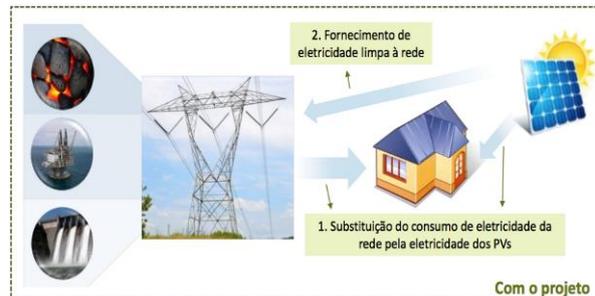


Figura 5 - Concepção da obtenção de energia com o projeto de micro geração fotovoltaica.

A metodologia para estimar a redução de emissões de GEE proporcionada pelos projetos de micro geração fotovoltaica basicamente considera que:

$$\text{Emissões evitadas} = \text{Eletricidade Renovável Gerada pela UFV} \times \text{Fator de Emissão da linha de base do SIN} \quad (1)$$

Alguns dos pré-requisitos para uso da metodologia proposta em micro geração fotovoltaica é o limite de 15 MW, caracterizando um projeto de pequena escala no âmbito do MDL, de acordo com a metodologia de referência, em concordância com a RN n^o 482/2012 que é aplicada a sistemas fotovoltaicos com no máximo 1 MW de potência instalada (Aneel, 2013). As atividades do projeto não incluem combinação de calor e eletricidade (cogeração) e, caso isso ocorra, os sistemas tornam-se não elegíveis no âmbito desta metodologia. Se as atividades do projeto apresentam adição de unidades de geração de energia renovável em uma instalação de geração renovável de energia existente, a capacidade adicional de unidades acrescentadas ao projeto deverá ser sempre inferior a 15 MW e fisicamente distintas das unidades já existentes. Ressalta-se que como o objetivo do projeto em voga não inclui a certificação da redução de emissões, e conseqüente emissão de créditos de carbono (reduções certificadas de emissões - RCEs), nem todos os elementos de elegibilidade (por exemplo, a adicionalidade dos projetos) são necessariamente aplicáveis. Não obstante, o referencial metodológico, amplamente aceito e utilizado, é utilizado nesta proposta como referência para se analisar os benefícios de projetos de micro geração fotovoltaica em termos de redução de emissões.

Os fatores de emissão de CO₂ calculados de acordo com a ferramenta metodológica “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*”³ aprovada pelo Conselho Executivo do MDL, têm como objetivo estimar a contribuição, em termos de redução de emissões de CO₂, de um projeto de MDL que gere eletricidade para a rede. Resumidamente, o fator de emissão do sistema interligado para fins de MDL é uma combinação do fator de emissão da margem de operação, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ da energia despachada na margem, com o fator de emissão da margem de construção, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ das últimas usinas construídas. Este algoritmo é amplamente utilizado para quantificar a contribuição futura de uma usina que vai gerar energia elétrica para a rede em termos de redução de emissões de CO₂, em relação a um cenário de linha de base. Esse fator serve para quantificar a emissão que está sendo deslocada na margem.

¹ Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/W3TINZ7KKWCK7L8WTFQOFQFH4SBK>. Acesso em novembro de 2015.

² Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/9KJWQ1G0WEG6LKHX21MLPS8BQR7242>. Acesso em novembro de 2015.

³ Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v4.0.pdf>. Acesso em novembro de 2015.

De acordo com a ferramenta “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*”, se a Autoridade Nacional Designada⁴ (AND) do país anfitrião dos projetos possui uma delimitação do sistema elétrico destes projetos e do sistema elétrico conectado, esses delineamentos devem ser usados. Em maio de 2008, por meio da Resolução nº 8, a AND brasileira definiu que o Sistema Interligado Nacional deve ser considerado como um único sistema e que essa configuração será válida para o cálculo do fator de emissão de CO₂ usados para calcular a redução de emissões de gases de efeito estufa em projetos de MDL que fornecem geração de eletricidade conectada à rede nacional.

A AND passou a disponibilizar o fator de emissão da margem de operação por meio da análise de dados de despacho e do fator de emissão da margem de construção para o Sistema Elétrico Brasileiro, de acordo com a ferramenta metodológica para o cálculo do fator de emissão para um sistema elétrico, aprovada pelo Comitê Executivo do MDL. Os fatores de emissão de CO₂ para geração de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN) são calculados com base no registro de geração de usinas despachadas de forma centralizada pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico Nacional). Os procedimentos para cálculo foram elaborados em cooperação entre o ONS, Ministério de Minas e Energia (MME) e do Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação (MCTI). Quanto ao cálculo da margem operacional por meio da análise de dados de despacho, a AND utiliza os dados de despacho de geração centralizados no ONS⁵.

Na composição da margem combinada para projetos de redução de emissões, considerando projetos de geração de energia eólica ou solar de grande escala, geração centralizada acima de 15 MW, a ferramenta “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*” recomenda que os seguintes valores padrões sejam utilizados em: margem de operação: 75% do peso; e margem de construção: 25% do peso. Considera-se que estes empreendimentos possuem geração intermitente e não despachável, o que justifica a utilização de um peso maior para o Fator de Emissão da Margem de Operação.

No Brasil as emissões do SIN são relativamente baixas devido à alta participação das usinas hidrelétricas na composição da matriz energética. Deve-se ressaltar que o fator de emissão do SIN é uma variável dependente de fatores climáticos, uma vez que a menor disponibilidade de água nos reservatórios das hidroelétricas pode demandar maior geração por termoeletricas a gás natural. Dessa forma, ocorre uma alteração mensal do fator de emissão de CO₂ por MWh, não sendo possível pré-definir a relação de CO₂ evitado por MWh gerado, como comumente encontrado nos sistemas de monitoramento de inversores solares de sistemas de micro geração fotovoltaica (Fig. 6).

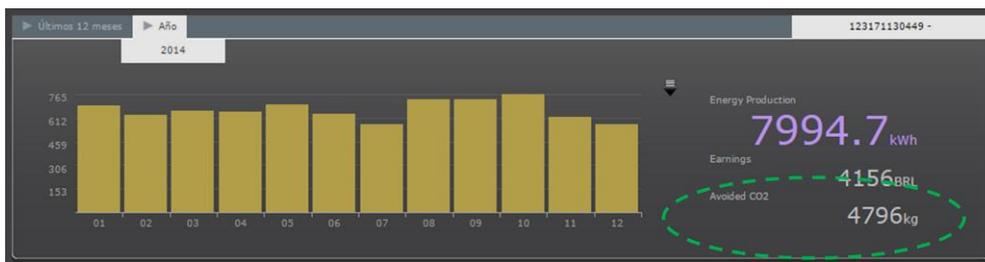


Figura 6 - Sistema de monitoramento de inversor solar fotovoltaica com configuração prévia da relação “kg de CO₂ evitado por kWh gerado”.

A metodologia AMS-I.D tem por objetivo orientar a determinação do cenário de referência de projetos que geram energia elétrica a partir de fontes renováveis e que estejam conectados à rede básica do país anfitrião, ou seja, calcular as emissões decorrentes da geração de eletricidade na ausência do projeto proposto. Entretanto, cabe ressaltar que o uso desta metodologia não é geral, sendo necessário que os projetos atendam a determinadas condições. Em resumo, esta metodologia contempla os empreendimentos de geração de energia elétrica explícitos na Tab. 1.

Tabela 1- Empreendimentos que possibilitam cálculo através da metodologia proposta.

EMPREENDIMENTOS CONTEMPLADOS NA METODOLOGIA AMS-ID
✓ usinas hidrelétricas com reservatórios existentes cujo volume não venha a aumentar em virtude do projeto MDL;
✓ usinas hidrelétricas fio d'água;
✓ novas usinas hidrelétricas cujos reservatórios tenham densidade de potência maior do que 4 W/m ² ;
✓ empreendimentos eólicos;
✓ empreendimentos que utilizam a energia geotérmica;
✓ empreendimentos que utilizam a energia solar;
✓ empreendimentos que utilizam a energia das ondas ou das marés.

⁴ No Brasil a Autoridade Nacional Designada (AND) é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC). Mais informações no site do MCTI.

⁵ Os fatores de emissão calculados pelo MCTI para projetos no âmbito do MDL podem ser obtidos em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/361017.html#ancora>.

Conforme descrito na ferramenta metodológica “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*”, define-se como um sistema elétrico a extensão espacial de um grupo de usinas que possam ser despachadas sem restrições significativas de transmissão, que é exatamente o caso de Usinas Fotovoltaicas (UFVs) de micro e mini geração distribuída. O sistema elétrico no qual o projeto se encontra conectado é denominado sistema do projeto. Por outro lado, todo sistema elétrico conectado ao sistema do projeto é denominado sistema conectado.

Cabe ressaltar que definir de forma clara a extensão espacial dos sistemas elétricos é fundamental para que seja possível quantificar as suas importações e exportações de energia elétrica. Qualquer transferência de eletricidade dos sistemas conectados para o sistema do projeto é definida como uma importação de energia. A situação inversa define uma exportação de energia elétrica. Segundo o escopo da metodologia, além da quantidade de energia importada e/ou exportada pelo sistema do projeto, a fonte primária dessa energia também deve ser considerada no cálculo da sua linha de base.

A metodologia proposta para o cálculo do Fator de Emissão da Margem Combinada (FE_{MC}), passo a passo, é apresentada na Fig. 7 em forma de fluxograma.

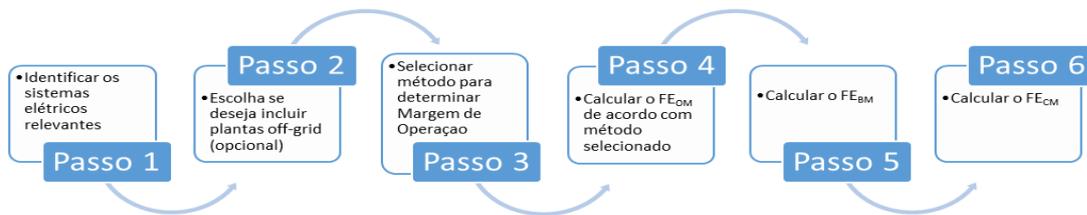


Figura 7 - Fluxograma para realização de cálculo do Fator de Emissão da Margem Combinada.

Em relação ao Passo 1 da Fig. 7 cabe ressaltar que uma das premissas deste trabalho é que toda a energia gerada pelo projeto é destinada à rede básica do Sistema Interligado Nacional. Nota-se que esta consideração dificulta a determinação da linha de base, uma vez que é necessário identificar a procedência de toda a energia deslocada por esses projetos. Esta informação é relevante no sentido de se conhecer qual seria a fonte primária de geração (gás natural, óleo combustível, etc.) caso o projeto proposto não fosse implantado. O projeto incluso no estudo de caso, próxima seção deste trabalho, não contempla qualquer contribuição de geração isolada, as chamadas plantas off-grid, e, portanto, desconsidera-se o Passo 2. A seleção para determinar a Margem de Operação (Passo 3), em inglês “Operation Margin (OM)”, inclui quatro métodos: OM Simples (utilizada na metodologia deste trabalho), OM Simples Ajustada, OM da Análise dos Dados de Despacho e OM Médio. Qualquer um dos quatro métodos pode ser utilizado de acordo com a ferramenta “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*” da metodologia AMS-I.D.

Em caso de adoção do método OM simples o Fator de Emissão da Margem de Operação FE_{OM} Passo 4 da Fig. 7 é calculado segundo a Eq. (2):

$$FE_{grid,OM\ simples,y} = \frac{\sum_m EG_{m,y} \times FE_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}} \quad (2)$$

onde $FE_{grid,OM\ simples,y}$ é o Fator de Emissão de Margem Simples CO_2 no ano y (tCO_2/MWh); $EG_{m,y}$ é a quantidade líquida de eletricidade gerada e entregue para a rede pela unidade geradora m (MWh); $FE_{EL,m,y}$ é o Fator de Emissão da unidade geradora m no ano y (tCO_2/MWh); m representa todas unidades geradoras fornecendo energia para a rede no ano y exceto as unidades de baixo custo; e y é o ano.

Por este método, o Fator de Emissão da Margem Operacional é calculado baseado na eletricidade líquida gerada por cada unidade geradora. Ressalta-se que existem duas opções descritas na metodologia para o cálculo do Fator de Emissão de cada unidade geradora que varia de acordo com fatores, como o tipo de combustível usado e a eficiência de cada unidade.

A determinação do Fator de Emissão da Margem Construtiva FE_{BM} (Passo 5) tem por objetivo representar o comportamento da expansão do sistema na linha de base do projeto MDL. Apenas as usinas conectadas ao sistema devem ser consideradas neste cálculo, exceto quando os acréscimos à capacidade de transmissão permitirem aumentos significativos da eletricidade importada, neste caso o aumento da capacidade de transmissão deve ser considerado uma nova fonte da margem construtiva.

Por fim calcula-se o Fator de Operação da Margem combinada (Passo 6). Esse fator é calculado através da média entre o Fator de Emissão da Margem Operacional e o Fator de Emissão da Margem Construtiva, onde os dois fatores têm pesos iguais a 50% no caso da geração distribuída de pequena escala, com potência inferior a 15 MW. O cálculo do Fator de Emissão da Margem Combinada está representado na equação abaixo:

$$FE_{BM} = (W_{OM} \cdot FE_{OM} + W_{BM} \cdot FE_{BM}) / 2 \quad (3)$$

onde FE_{BM} é o Fator de Emissão da Margem Combinada (tCO_2/MWh); W_{OM} é o peso aplicado ao Fator de Emissão da Margem Operacional (50%) e W_{BM} é peso aplicado ao Fator de Emissão da Margem Construtiva (50%).

Os pesos são aplicados igualmente para os dois fatores também na metodologia ACM0002 que é a metodologia aprovada pelo conselho executivo do MDL para projetos de grande escala, com potência superior a 15MW.

3. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA À UFV PGM SISTEMAS

A primeira instalação de micro geração fotovoltaica do Brasil enquadrada pela RN nº 482/2012 foi instalada em Uberlândia/MG e está em operação desde 2012 (Buiatti, 2013 e Mattar, 2014). A UFV PGM Sistemas possui potência instalada de 6,58 kWp, composta por 28 módulos fotovoltaicos de silício policristalino com potência de pico de 235 Wp / módulo do fabricante Sun-Earth (modelo TPB156x156-60-P, certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), classe A de eficiência energética), sendo dois arranjos de 14 módulos conectados em série (string, em inglês), cada arranjo acoplado a um inversor com isolamento galvânica de alta frequência do fabricante Eltek (modelo Het) e potência nominal de 4,4 kW. A UFV foi instalada sobre o telhado do estabelecimento comercial, com desvio azimutal de 50° Noroeste e inclinação de 15° demonstrados na Fig. 9, e seus parâmetros energéticos são monitorados desde sua entrada em operação através do software fornecido pelo fabricante do inversor. A Fig. 10(a) apresenta as produções específicas mensais para cada ano em operação da UFV onde é possível observar que em 2014 o sistema apresentou uma produção de energia anual superior a 4,2% em comparação ao ano precedente. Porém, considerando a produção específica acumulada entre os meses de maio a outubro para os anos de 2013, 2014 e 2015, entende-se que 2014, de fato, teve produção de energia superior em relação aos anos de 2013 e 2015. Assim, pode-se considerar a produção específica semestral acumulada entre maio e outubro como sendo em torno de 0,72 kWh/Wp/semestre, este período representando aproximadamente 51,5% da produção de energia anual da UFV PGM Sistemas. Neste contexto estima-se que a produção específica de 2015 deverá ser a mesma de 2013.



Figura 9 - Imagens da UFV PGM Sistemas em Uberlândia - MG

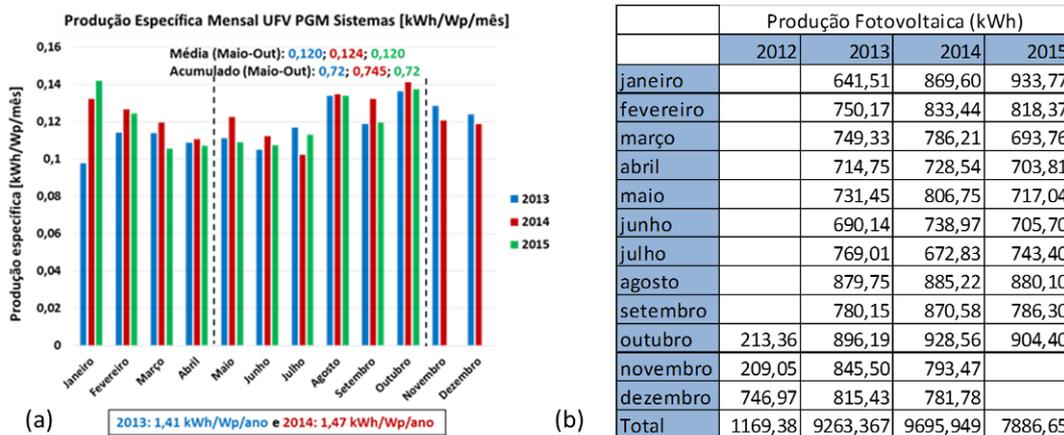


Figura 10 - (a) Produções específicas e (b) de energia elétrica da UFV PGM Sistemas (2012-2015).

A geração detalhada da UFV PGM Sistemas desde sua entrada em operação, e utilizada nos cálculos deste trabalho está apresentada na Fig. 10(b). É válido ressaltar que a UFV pode ser considerada como conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) por estar conectada diretamente à rede de distribuição. Uma vez que a linha de base do projeto é calculada em função das emissões evitadas pela sua própria atividade, esse cálculo considera esta única usina fisicamente conectada ao sistema elétrico, mas que poderia pertencer a um projeto MDL de várias usinas. A atividade do projeto utiliza energia solar fotovoltaica para a geração de eletricidade, a qual se encaixa na categoria das tecnologias de energia renovável. Como capacidade instalada do projeto proposto não excede a capacidade limite de 15 MW, a atividade é considerada como projeto de pequena escala, onde parte da energia gerada é exportada para a rede de distribuição. Portanto, de acordo com as modalidades de pequena escala, a atividade do projeto se encaixa no Tipo-I

Projetos de Energia Renovável e Categoria I.D. geração de eletricidade renovável conectada à rede. A atividade do projeto não consiste em um sistema conjugado de calor e energia (co-geração). Portanto, aplica-se a metodologia descrita na seção 2. O período analisado para o estudo de caso tem seu início quando há o primeiro registro de produção energética do sistema em outubro de 2012, durante fase de testes, com registro em dezembro de 2012.

Para se calcular as emissões evitadas Eq. (1) em um primeiro momento consulta-se os fatores de emissão da Margem de Operação (FE_{OM}), que passaram a ser calculados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para os quatro submercados do SIN (Norte, Nordeste/ Sudeste, Centro-Oeste e Sul) a partir de janeiro de 2006 (MCTI, 2015), onde a Fig. 11 apresenta os valores de interesse para o caso analisado neste trabalho. Em um segundo momento os fatores de emissão da Margem de Construção (FE_{BM}) também são consultados, Fig. 12, para posterior cálculo do Fator de Emissão da Margem combinada (FE_{CM}) pela Eq. (3) representados na Fig. 13, que por sua vez é equivalente ao Fator de Emissão da linha de base. É de suma importância ressaltar que o FE_{BM} só é divulgado após o final de cada ano, se tornando impossível estimar o valor exato do FE_{CM} para o ano corrente, como supostamente fornecido pelo monitoramento de inversores solares conforme Fig. 6.

Finalmente, o CO₂ evitado pela UFV PGM Sistemas é calculado para cada ano desde sua entrada em operação, considerando a fase de testes, expressados em quilogramas por ano na Fig. 14, onde a produção dos meses de novembro e dezembro de 2015 foram obtidos por extrapolação dos dados da Fig 10(b). Já o FE_{BM} adotado para 2015, já que o ano ainda não terminou, é o mesmo do ano de 2014. A justificativa para o uso do FE_{BM} de 2014, e não da média dos Fatores de Emissão da Margem Combinada dos 3 últimos anos, baseia-se no fato de que houve um crescimento notável na produção energética por termelétricas desde 2012, que operaram intensamente em 2014, situação praticamente inalterada durante o ano de 2015 devido à falta de chuvas.

	2012	2013	2014	2015
JAN	0,294	0,608	0,616	0,576
FEV	0,322	0,596	0,599	0,578
MAR	0,405	0,590	0,570	0,577
ABR	0,624	0,601	0,577	0,547
MAI	0,594	0,583	0,561	0,547
JUN	0,506	0,608	0,568	0,579
JUL	0,394	0,578	0,567	0,569
AGO	0,449	0,557	0,586	0,555
SET	0,643	0,591	0,599	0,531
OUT	0,657	0,589	0,590	
NOV	0,664	0,608	0,589	
DEZ	0,660	0,610	0,583	
MÉDIA	0,518	0,593	0,584	0,562

Figura 11 - FE_{OM} mensal UFV PGM (tCO₂/MWh).

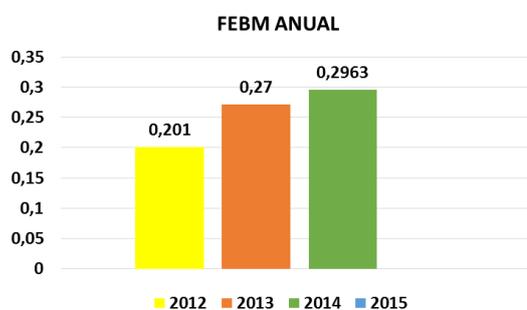


Figura 12 - FE_{BM} UFV PGM anual (tCO₂/MWh).

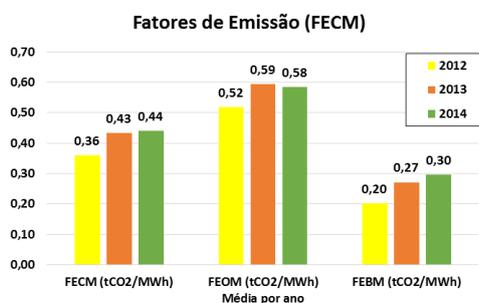


Figura 13 - FE_{CM} Anual UFV PGM (tCO₂/MWh).



Figura 14 - CO₂ evitado pela UFV PGM–Valor Anual (kgCO₂)

Como pode ser visto pela Fig. 15, a configuração do sistema de monitoramento do inversor da UFV PGM Sistemas indicou um valor de CO₂ evitado em 2013 superior em 67% ao valor calculado neste trabalho apresentado na Fig. 14, concluindo-se que valores pré-definidos em fábrica de inversores solares comerciais podem levar a conclusões e divulgações imprecisas por parte dos proprietários de UFVs de micro e mini geração no Brasil.

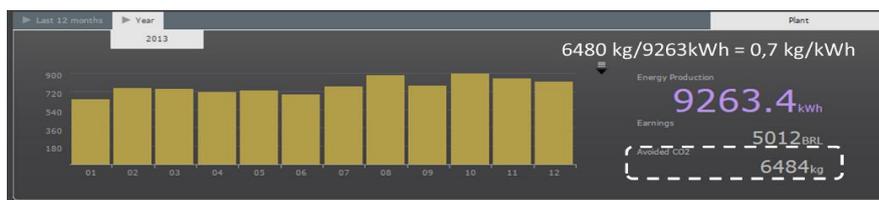


Figura 15 – Sistema de monitoramento do inversor solar fotovoltaico da UFV PGM Sistemas (2013).

4. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma metodologia para monitorar a redução de gases contribuintes ao efeito estufa (GEE) por sistemas de micro e mini geração solar fotovoltaica conectados à rede elétrica no Brasil. A partir da metodologia proposta, com base em metodologias já utilizadas mundialmente, foi possível observar que não é possível prever o CO₂ evitado de forma antecipada, a não ser por meio de adoção de premissas que podem levar a imprecisões. A relação com a energia gerada por sistemas fotovoltaicos varia mensalmente e anualmente, devendo haver uma consulta mensal de fatores de emissão disponibilizados mensalmente, e a maioria dos inversores solares de mercado não são adaptados para o cálculo adequado das emissões evitadas. O trabalho desenvolvido serve como referência para que proprietários de UFVs de pequeno porte no Brasil possam quantificar o CO₂ evitado ano após ano, mas não deve ser utilizado com escopo de mercado que vise remuneração ou compensação associada ao CO₂ evitado, como os créditos de carbono.

REFERÊNCIAS

- Almeida, H N N., 2015. Créditos de carbono: natureza jurídica e tratamento tributário. Disponível em: < <http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=7307>>. Acesso em: 19 nov. 2015.
- AMS I.D. – versão 18 – Metodologia de Linha de Base e Monitoramento Simplificada para geração de eletricidade renovável conectada a rede (fonte: Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima). acesso em 25 nov. 2015.
- AMS I.F. – versão 3 – Metodologia de Linha de Base e Monitoramento Simplificada para geração de eletricidade renovável conectada a rede (fonte: Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima). acesso em 26 nov. 2015.
- Aneel, 2013. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. Brasília: ANEEL, Cadernos Temáticos ANEEL. 28 p.
- Buiatti, G. M., 2013. Inovações no marketing para pequenas empresas – Selo Solar para PGM Sistemas. In: Renex South America – Feira Internacional de Energias Renováveis.
- Castro, M. A., L., 2015. Audiência Pública 26/2015 Revisão das regras para micro e minigeração distribuída. Disponível em < <http://tinyurl.com/od9uy2a> >. Acesso em: 10 nov. 2015.
- CGEE - Centro de Gestão e Estudos estratégicos, Manual de capacitação sobre mudança do clima e projetos de Mecanismo de desenvolvimento Limpo(MDL), Brasília, 2008, Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/publicacoes/MudancaDoClima.php>> Acesso em: 17 de out. 2015.
- Global Market Outlook for Solar Power 2105-2019, 2015. Solar Power Europe report.
- Marinoski, L. D; Salomoni, I. T.; Ruther, R., 2004, Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, São Paulo. Anais... São Paulo, 2004.
- Mattar, C.A.C., 2014. Avaliação dos resultados da Resolução Normativa nº 482/2012 na visão do Regulador. Seminário Micro e Minigeração Distribuída – Impactos da resolução Normativa nº 482/12, Brasília, 09/04/2014.
- Rocha, M. T.. Aquecimento Global e o Mercado de Carbono: uma Aplicação do Modelo CERT. 2003. 1 v. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- Vieira, Célio Sérgio et al, Simulação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede pública para suprir a demanda de energia no CEFET-MG, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2 e CONFERÊNCIA REGIONAL LATINO-AMERICANA DA ISES, 3, 2008, Florianópolis. Anais
- UNFCCC - United Nations Framework Convention On Climate Change. tradução elaborada por MCTI, Ministério de Ciência e Tecnologia (Brasil). Disponível em: <www.mct.gov.br/clima/convencao/default.htm>. Acesso em: 20 nov. 2015.

METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE REDUCTION OF CO₂ EMISSIONS APPLIED TO MICRO GENERATION PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Abstract. *Statistics from Electrical Energy National Agency (ANEEL) show that most of Brazilian customers adopting clean energy own generation, the so-called Distributed Generation (DG) ruled by national regulation 482/2012, are mainly motivated by sustainability. Most of these customers are willing to quantify how they are contributing with the environment, through the photovoltaic generation that is the main DG source applied in Brazil, but most of installers are not able to estimate such values with accuracy. In this context, this paper proposes a monitoring plan for evaluating avoided CO₂ by photovoltaic grid-connected systems in Brazil. A case study applied to a micro generator operating since 2012 is presented and discussed in details.*

Keywords: *Reduction of CO₂ Emissions, Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation, Grid Connected Photovoltaic Systems.*