



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

FI/GCR/11
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO VI

GRUPO DE ESTUDO DE COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCR

**ANÁLISE DA METODOLOGIA DE CONTABILIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA DE
PARQUES FOTOVOLTAICOS VENDEDORES NOS LEILÕES DE ENERGIA DE RESERVA**

Gabriel Malta Castro (*)
EPE

Bernardo Folly de Aguiar
EPE

Gustavo Pires da Ponte
EPE

Patrícia Costa Gonzalez de Nunes
EPE

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira
EPE

RESUMO

Tendo em vista a participação de empreendimentos fotovoltaicos nos Leilões de Energia Elétrica, em especial os de Energia de Reserva, este trabalho avalia a metodologia desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE para a contabilização da produção de energia proveniente dessas usinas.

Dentre os aspectos avaliados destacam-se a variabilidade do recurso solar e a incerteza associada à estimativa de produção de energia dos empreendimentos fotovoltaicos. Com bases nesses parâmetros e visando estabelecer regras para a comercialização de energia dessa fonte, foram analisados os desvios em torno da expectativa de produção de energia e a respectiva valoração e período de contabilização.

PALAVRAS-CHAVE

Energia Fotovoltaica, Leilão, Energia de Reserva, Desvios de Produção, Contabilização

1.0 INTRODUÇÃO

Para a viabilização econômica da produção da energia solar fotovoltaica e consequente contratação no mercado brasileiro de energia elétrica, houve a necessidade de um conjunto de regras específicas para a contabilização da produção de energia dessa fonte, adequadas às suas características técnicas.

A forma de contabilização foi estabelecida pelo Ministério de Minas e Energia a partir do Leilão de Energia de Reserva de 2014, conforme descrito no art. 6º da Portaria MME nº 236/2014 [1] e detalhada no relatório EPE-DEE-NT-079/2014-r0 – “Leilão de Contratação de Energia de Reserva – Metodologia de Contabilização da Produção de Energia de Empreendimentos Fotovoltaicos” [2], buscando-se utilizar tanto quanto possível regras similares àquelas vigentes para os empreendimentos eólicos [3].

(*) Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Av. Rio Branco, nº 1 - 11º andar - CEP 20.090-003, Rio de Janeiro, RJ – Brasil, Tel: (+55 21) 3512-3316 – www.epe.gov.br – E-mail: gabriel.castro@epe.gov.br

Essas regras buscaram atingir os seguintes objetivos:

- minimizar o custo de produção da energia e promover a competitividade da fonte solar fotovoltaica;
- comprometer o agente empreendedor com a efetiva produção da energia contratada, sem grandes desvios em relação ao contratado, sejam eles positivos ou negativos;
- incentivar a contratação eficiente da energia produzida pelos empreendimentos solares fotovoltaicos.

A viabilização da contratação é buscada por meio de um esquema de contabilização que mitigue os riscos inerentes à fonte, incentivando, porém, o compromisso de produção da energia contratada. Para isto, foi especificada uma contabilização anual, com o pagamento de uma receita fixa, em parcelas mensais, considerando a energia contratada. Em linhas gerais, a supracitada Portaria do MME define que:

- o montante anual de energia contratada será remunerado em doze parcelas mensais uniformes;
- são permitidos desvios da produção média anual efetiva de até 10% a menor (margem inferior) e de até 15% a maior (margem superior), em relação à obrigação contratual de suprimento anual;
- os desvios anuais negativos contidos dentro da margem inferior ensejam acerto no ano subsequente, devendo o gerador ressarcir a energia gerada abaixo do montante contratado à Conta de Energia de Reserva, a preço contratual acrescido de 6%;
- os desvios anuais positivos contidos dentro da margem superior ensejam acerto no ano subsequente, podendo o gerador optar por ser remunerado a 100% do preço contratual pela energia gerada acima do montante contratado, ou repassar essa energia como crédito para o ano seguinte;
- os desvios anuais positivos da produção efetiva de energia elétrica, em relação ao montante contratado, que ultrapassem a margem superior deverão ser reembolsados ao gerador pelo valor de 30% do preço do contrato, em doze parcelas mensais uniformes no ano contratual seguinte; e
- os desvios anuais negativos da produção efetiva de energia elétrica, em relação ao limite da margem inferior, deverão ser valorados pelo preço do contrato acrescido de penalidade de 15% e ressarcidos à Conta de Energia de Reserva, em doze parcelas mensais uniformes no ano contratual seguinte.

Nos primeiros anos de operação, quando a eficiência da conversão fotovoltaica atinge valores significativamente maiores do que a média, espera-se que a geração seja maior do que a garantia física de energia (GF) do empreendimento. Para refletir esta situação no fluxo de caixa do investimento, aumentando a sua competitividade, a produção excedente à contratada, até um dado limite superior, poderá ser paga logo no ano seguinte, o que aumenta o seu valor financeiro. Por outro lado, o comprometimento do agente com a efetiva produção contratada e o incentivo à contratação eficiente são buscados penalizando a geração abaixo de um determinado percentual da energia contratada (margem inferior) e reduzindo a remuneração da produção excessiva, isto é, acima da margem superior.

Os limites dos desvios da produção em relação à energia contratada, os valores da penalidade dos desvios negativos e do pagamento dos desvios positivos foram ajustados através da análise dos resultados de simulações da aplicação das regras de contabilização propostas, levando em consideração as características da radiação solar e a degradação da eficiência dos módulos.

Este trabalho traz um detalhamento da metodologia para contabilização da produção de usinas fotovoltaicas vendedoras em leilão de energia de reserva, bem como apresenta os principais elementos considerados na definição dos parâmetros sugeridos para alcançar os objetivos relacionados acima.

O trabalho está organizado em três seções além desta introdução. Na seção 2, apresenta-se a metodologia considerada na definição dos parâmetros de contabilização da produção energia de usinas fotovoltaicas. Na seção 3, são apresentados os resultados obtidos, considerando o período de contabilização avaliado, diferentes valores de margens inferior e superior e a respectiva remuneração para a geração acima dessas margens. A seção 4 apresenta as conclusões do trabalho.

2.0 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTABILIZAÇÃO

2.1. Metodologia

Para a definição dos parâmetros de contabilização, foram simulados diversos casos, verificando os resultados para diferentes parâmetros, particularmente quanto a:

- período de contabilização (quadrienal, como é para as usinas eólicas, ou anual);
- tamanho das margens superior e inferior em torno do compromisso contratual; e
- valoração da energia além destas margens.

A metodologia empregada consistiu então em simular 1.000 séries de produção anual durante 20 anos contratuais, contabilizá-las segundo as regras apresentadas acima e analisar o valor esperado da produção e da renda do contrato. As séries anuais de produção fotovoltaica foram obtidas através de sorteio aleatório (método de Monte Carlo), supondo que a distribuição da produção de energia é normal (gaussiana).

Os valores representativos do desvio padrão da produção fotovoltaica foram obtidos a partir dos dados de 119 projetos habilitados pela EPE para participar nos Leilões de Energia Nova “A-3” e “A-5”, de 2013. Considerando essa amostra, verificou-se que o valor médio dos coeficientes de incerteza¹ é da ordem de 9%, sendo que 90% dos coeficientes de incerteza variam de 6% a 13%. Cabe ressaltar que nessa amostra encontram-se, quase na sua totalidade, empreendimentos cuja estimativa de produção foi baseada em dados secundários de irradiação global horizontal, isto é, sem medição local por pelo menos um ano.

Na contabilização foi suposta a contratação de 100% da garantia física do empreendimento, calculada como sendo igual à produção esperada (P50).

3.0 RESULTADOS

3.1. Período de contabilização

Um dos aspectos que mais diferencia o comportamento de produção de energia solar fotovoltaica da produção eólica é a degradação da eficiência da conversão da energia solar em energia elétrica, ao longo da vida útil do equipamento.

De acordo com a Portaria MME nº 258, de 28 de julho de 2008 [4], a GF de usinas fotovoltaicas é calculada com base na produção anual de energia certificada, em MWh, referente ao valor de energia anual com uma probabilidade de ocorrência igual ou maior a cinquenta por cento, constante da Certificação de Dados Solarimétricos e de Produção Anual de Energia. Ainda de acordo com essa Portaria:

*“A produção anual de energia certificada deve considerar o abatimento das perdas relacionadas a temperatura, sujeira, sombreamento angulares e espectrais, **degradação dos módulos**, mismatch, tolerância sobre a potência nominal dos módulos, ôhmicas na cablagem, eficiência do inversor e controle de potência máxima, entre outras.”*

Nesses termos, a GF é calculada como um valor constante ao longo dos anos contratuais. No entanto, considerando que a irradiação global média seja constante ao longo do tempo e que não ocorram problemas operacionais, pode-se esperar uma produção de energia acima da GF até a metade do período de produção contratada, e abaixo da GF na segunda metade.

O gráfico da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra a variação da geração anual esperada em relação à GF, considerando que em todos os casos a GF atribuída é constante e que a degradação dos módulos ao longo do período contratual varia de 0,5 a 1%.

¹ Coeficiente de incerteza é a razão entre o desvio padrão e o valor esperado da amostra.

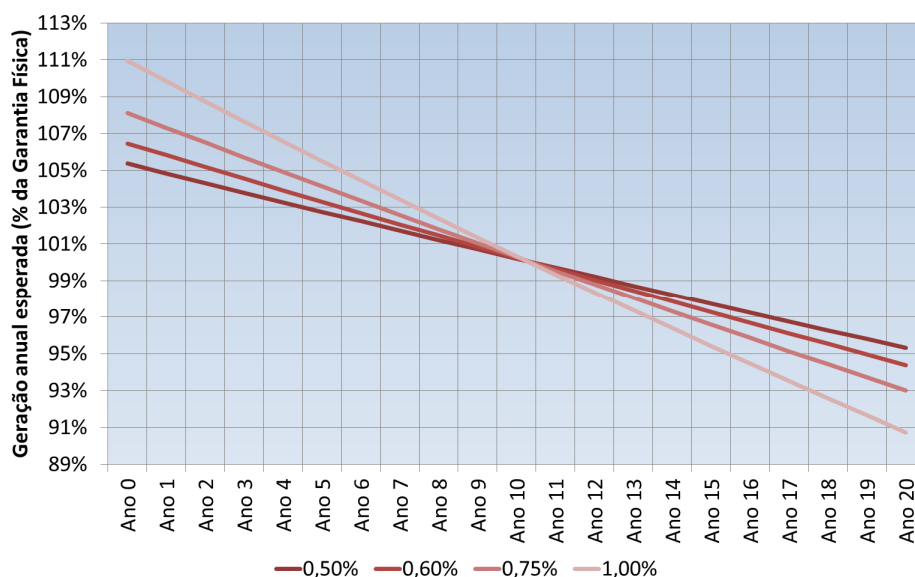


FIGURA 1 - Evolução da geração anual esperada

Assim, considerando um cenário conservador de degradação de 1% ao ano, o valor esperado da geração no primeiro ano seria da ordem de 111% da GF, enquanto no vigésimo ano esse percentual seria de 91% da GF.

Cabe observar que a variabilidade da irradiação global é menos relevante para a estimativa de produção fotovoltaica do que a variabilidade da velocidade do vento para a produção de parques eólicos. De fato a produção eólica varia com o cubo da velocidade do vento, enquanto que a produção fotovoltaica varia linearmente com a radiação.

Sendo assim, ainda que haja uma incerteza inerente ao recurso solar, a aplicação de períodos plurianuais de contabilização da produção fotovoltaica não seria um mecanismo de mitigação de riscos tão importante para os empreendimentos fotovoltaicos quanto o é para os eólicos. Pelo contrário, as simulações realizadas confirmaram que a contabilização anual contribui para a competitividade da fonte solar, aumentando o valor presente líquido da receita esperada do contrato.

3.2. Margens superior e inferior

Neste exercício avaliou-se a distribuição da geração como percentual da GF, para os três valores de coeficiente de incerteza da estimativa da produção de energia considerados (6%, 9% e 13%), conforme mostrado no gráfico da

. Os valores do referido gráfico não consideram a degradação do equipamento.

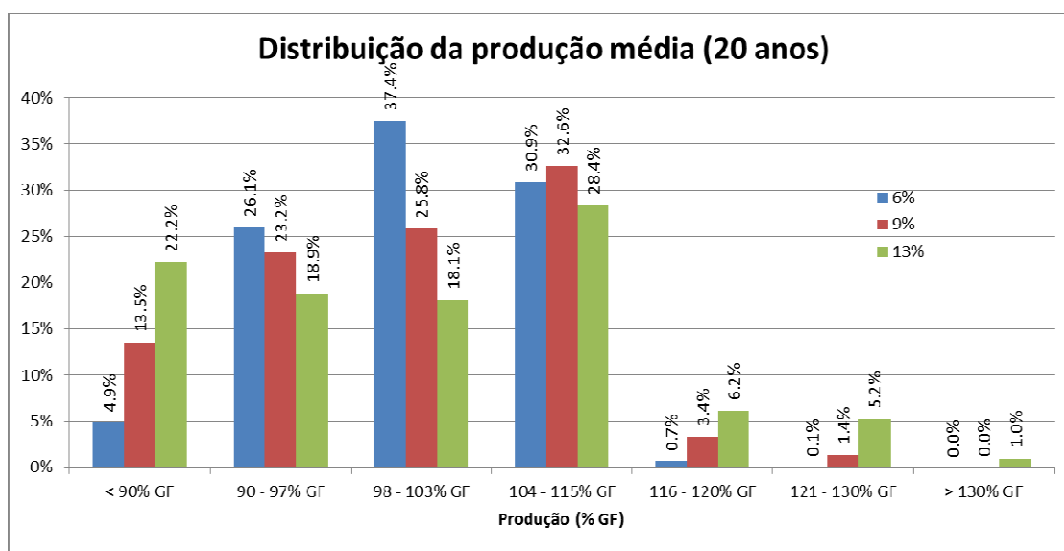


FIGURA 2 - Distribuição da produção

Verificou-se que a distribuição da produção para os coeficientes de incerteza de 6% e 9% se concentra em torno da média (100% GF). Considerando um coeficiente de incerteza de 6%, cerca de 95% dos valores de produção anual estão contidos na faixa entre 90% e 115% da GF. No caso de um coeficiente de 9%, 82% dos valores de produção anual ficam contidos nesse mesmo intervalo.

Para a o coeficiente de incerteza de 13%, a distribuição é mais uniforme, isto é, observa-se uma dispersão maior em torno do valor esperado.

Considerando uma degradação média de 1% ao ano, foram comparados cenários com diferentes valores de margens superiores, período de contabilização e de remuneração para a geração acima dessas margens. Foram consideradas duas alternativas de períodos de verificação da energia gerada em relação ao contratado: quadrienal (como é feito atualmente para as usinas eólicas) e anual. A Tabela 1

mostra as opções de contabilização analisadas.

Para interpretar essa tabela, toma-se como exemplo o caso 2. Nesse caso, toda geração mais de 30% acima da quantidade contratada será remunerada a 10% do valor de contrato. O montante de energia fornecido que se situe entre 20% e 30 % da quantidade contratada será remunerado a 40% do valor de contrato. Por fim, o montante entre 10% e 20% será remunerado a 70% do valor de contrato. A quantidade de energia gerada a mais que não ultrapasse a margem 1 pode ser acumulada como saldo para o ano seguinte ou ser liquidada ao preço de contrato. No caso da geração ser abaixo da contratada, será efetuado um ressarcimento no ano (ou quadriênio) seguinte, com penalidade de 6% para o montante de até 10% do contratado e penalidade de 15% acima disso.

Havendo a opção de liquidar ou repassar como saldo a geração acima da contratada até o limite da margem 1, simulou-se as duas possibilidades. Dessa forma, os casos 6, 7 e 8 correspondem aos casos 3, 4 e 5, porém liquidando, ao final do ano, a geração acima do montante contratado.

Vale observar que a opção 1 corresponde à regra vigente para a contratação de energia de reserva de fonte eólica [3]. As opções 5 e 8 correspondem à nova regra estabelecida pelo Ministério de Minas e Energia - MME para os projetos fotovoltaicos, diferenciando-se apenas pela liquidação do saldo acumulado ou não, opção feita por cada gerador conforme sua estratégia durante o período contratual.

Tabela 1 - Descrição dos casos analisados

| Opção | Margem 1 | Margem 2 | Margem 3 | Remuneração 1 | Remuneração 2 | Remuneração 3 | Liquida o saldo acumulado? | Periodicidade |
|-------|----------|----------|----------|---------------|---------------|---------------|----------------------------|---------------|
| 1 | 30% | - | - | 70% | - | - | NÃO | Quadrienal |
| 2 | 10% | 20% | 30% | 70% | 40% | 10% | NÃO | Quadrienal |
| 3 | 10% | 20% | - | 95% | 40% | - | SIM | Anual |
| 4 | 10% | 30% | - | 50% | 10% | - | SIM | Anual |
| 5 | 15% | - | - | 30% | - | - | SIM | Anual |
| 6 | 10% | 20% | - | 95% | 40% | - | NÃO | Anual |
| 7 | 10% | 30% | - | 50% | 10% | - | NÃO | Anual |
| 8 | 15% | - | - | 30% | - | - | NÃO | Anual |

Os gráficos na FIGURA 3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a seguir mostram a variação do valor esperado do valor presente líquido (VPL) percebido pelo empreendedor para um mesmo preço de venda de energia, em relação ao caso 1 (contabilização igual à praticada para fonte eólica).

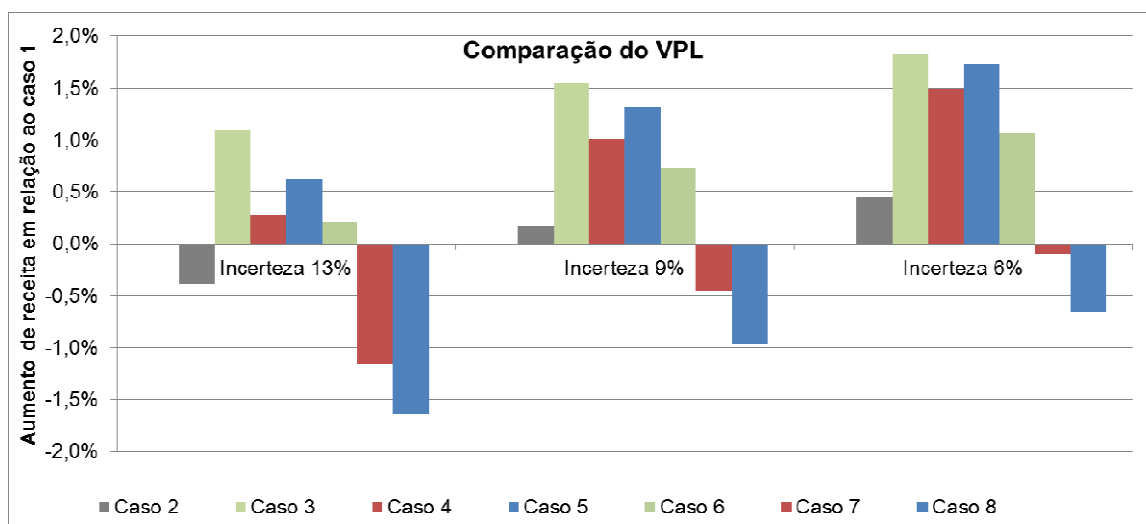


FIGURA 3 - Valor esperado do VPL para cada opção de contabilização

O gráfico da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a perda de receita (em termos de R\$/kW_{instalado}) do empreendimento, caso seja feita uma sobreinstalação de 25% em relação ao projeto vendedor no leilão (cuja produção esperada definiu o valor de GF).

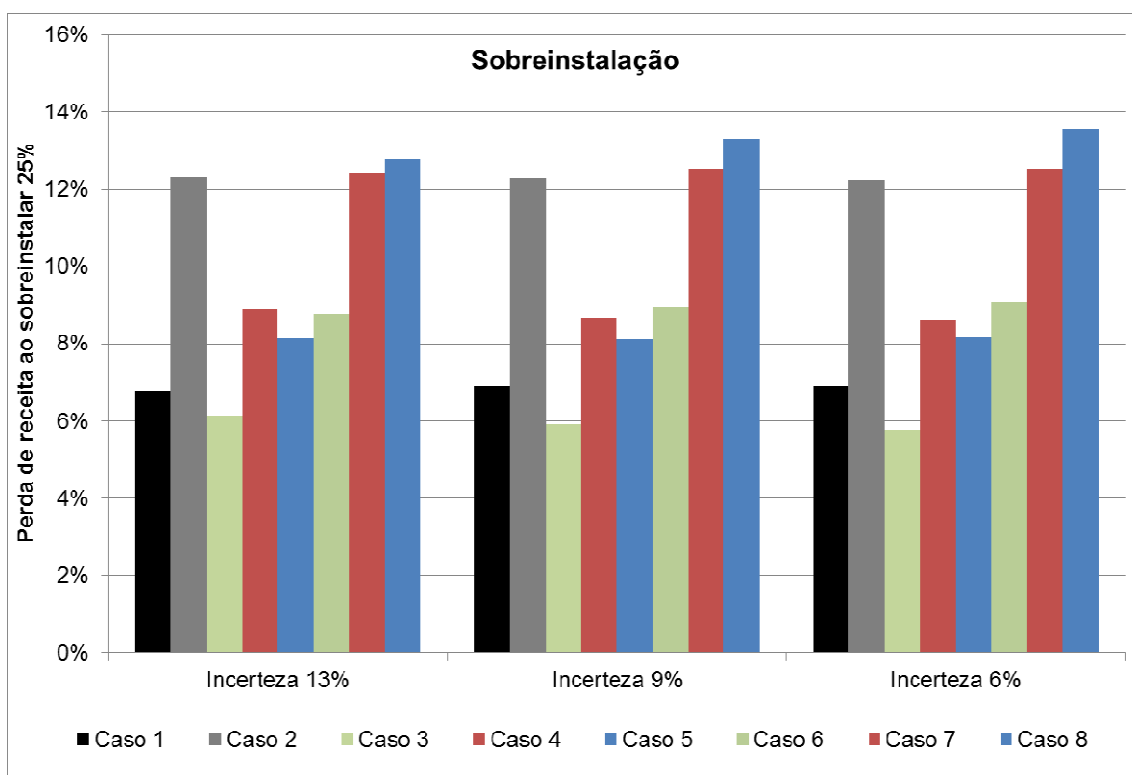


FIGURA 4 - Perda de receita por kW ao sobreinstalar para cada opção de contabilização

Observa-se que o caso 5 induz a competitividade da fonte solar fotovoltaica, ao mesmo tempo em que evita incentivar o aumento da capacidade instalada dos parques, em relação ao contratado, comprometendo o agente com a efetiva produção da energia contratada.

Outro resultado observado é que, em todos os casos, é mais vantajoso para o proprietário da usina liquidar a geração adicional do que acumular essa energia como saldo para o período de contabilização seguinte. Isso pode ser explicado pelo fato de que, o ressarcimento que ele deve incorrer em caso de geração abaixo do esperado é de, no máximo, 15%. Por outro lado, em momentos que a geração de energia está muito acima da esperada, a remuneração pode chegar a apenas 10% (nos casos 4 e 7), o que corresponde a um custo de oportunidade de 90%.

4.0 CONCLUSÃO

Por se tratar de uma análise multiobjetivo, em que se quer maximizar o VPL do fluxo de receitas do contrato e ao mesmo tempo minimizar o incentivo à sobreinstalação, é preciso considerar conjuntamente os sinais fornecidos pelos gráficos das FIGURAS 3 e 4. Devem ser descartadas opções que sejam simultaneamente piores em ambos os aspectos, quando comparadas com outras opções disponíveis.

Dessa forma, considerando que:

- a variabilidade típica da geração solar fotovoltaica é menor do que a eólica, indicando um ajuste para estreitamento das margens contratuais inferior e superior de produção;
- os módulos fotovoltaicos sofrem uma degradação gradativa que reduz a eficiência da conversão, o que poderia reduzir a viabilidade econômica da geração fotovoltaica se o requisito de produção mínima for muito restritivo; e
- caso o empreendedor não planeje investir na recomposição de sua capacidade inicial de geração, optando por não compensar a redução de geração por conta da degradação dos módulos, sua geração no primeiro ano pode superar 10% de sua GF;

Convencionou-se que:

- o período de contabilização seja anual, sem ajuste plurianual, de forma a não postergar recebimento de receita esperada por geração superior ao compromisso contratual nos primeiros anos de operação;
- a margem inferior seja de 90% da energia contratada, acomodando parte da variabilidade da irradiação global;
- a margem superior seja de 115% da energia contratada, acomodando os desvios positivos de geração que têm probabilidade mais elevada de ocorrer nos primeiros anos de operação, sem aplicação de desconto sobre o montante de geração contido nessa faixa;
- o valor da penalidade para a produção inferior a 90% da energia contratada seja mantido em 115% do preço de contrato, para garantir o comprometimento com a efetiva entrega da energia contratada; e
- o valor do pagamento para produção superior a 115% da energia contratada seja de 30% do preço de contrato, visando desestimular a subcontratação, ou aumento de capacidade ao longo do período contratual que não seja para corrigir desvios negativos de geração associados a erros na estimativa de irradiação e de produção.

Diante disso, a alternativa 5, adotada pelo MME para os projetos fotovoltaicos contratados como energia de reserva, compromete os agentes com o montante contratado, sem incentivos à sobreinstalação posterior da planta, mesmo assim contribuindo para melhorar o VPL das receitas do contrato.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministério de Minas e Energia - MME, *Portaria nº 236, de 30 de maio de 2014*.
- [2] Empresa de Pesquisa Energética - EPE, "Leilão de Contratação de Energia de Reserva. Metodologia de Contabilização da Produção de Energia de Empreendimentos Fotovoltaicos (EPE-DEE-NT-079/2014-r0)," Rio de Janeiro, 2014.
- [3] Empresa de Pesquisa Energética - EPE, "Leilão de Contratação de Energia de Reserva. Metodologia de Contabilização da Produção de Energia de Empreendimentos Eólicos (EPE-DEE-NT-081/2014-r0)," Rio de Janeiro, 2014.
- [4] MME, *Portaria nº 258, de 28 de julho de 2008*.

6.0 DADOS BIOGRÁFICOS

Bernardo Folly de Aguiar, nascido em Nova Friburgo – RJ em 1984, é Consultor Técnico da Superintendência de Projetos de Geração na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduado em Engenharia Elétrica pela

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ (conclusão em 2007) e com MBA em Negócios de Energia pela Fundação Getúlio Vargas – FGV (conclusão em 2014).

Gustavo Pires da Ponte, nascido em Brasília – DF em 1984, é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Brasília – UnB (conclusão em 2008) e pós-graduado em Engenharia de Tubulações pela PUC-Rio (conclusão em 2010).

Gabriel Malta Castro, nascido em Juiz de Fora – MG em 1982, é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília – UnB (conclusão em 2005) e mestrando em Planejamento Energético pela COPPE/UFRJ.

Patricia Costa Gonzalez de Nunes, nascida no Rio de Janeiro – RJ em 1981, é Consultora Técnica na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduada em Engenharia de Produção Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio (conclusão em 2004) e pós-graduação em Gestão do Conhecimento e Inteligência Empresarial pela COPPE/UFRJ (conclusão em 2006).

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira, nascido no Rio de Janeiro – RJ em 1983, é Superintendente Adjunto de Projetos de Geração na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF (conclusão em 2006) e mestre em Recursos Hídricos pela COPPE/UFRJ (conclusão em 2014).