

## VIABILIZAÇÃO DE PROJETOS DE MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

### Aplicação em Projetos de Geração Fotovoltaica

## FEASIBILITY OF CLEAN DEVELOPMENT MECHANISMS PROJECTS

### Application in Photovoltaic Generation Projects

#### A. Evellyn Aryadne Costa França

*Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano, Universidade da Amazônia, Brasil*

#### B. Marco Valério de Albuquerque Vinagre

*PPDMU, Universidade da Amazônia, Brasil*

#### C. Natália Daniele de Lima Vinagre Fonseca

*Doutoranda em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, Portugal*

### RESUMO

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um instrumento de flexibilização apresentado no Protocolo de Quioto para redução de emissão de Gases do Efeito Estufa realizados. Dentre os projetos que podem ser executados no MDL tem os de geração de energia solar fotovoltaica. Essa pesquisa tem por objetivo estudar o uso de MDL em sistemas fotovoltaicos e a viabilidade de projetos MDL. Utilizou-se a metodologia do MDL adequada para geração de energia renovável conectada à rede, calculou-se as reduções de emissões de CO<sub>2</sub> e as Reduções Certificadas de Emissões a fim de determinar a geração fotovoltaica necessária para obter projetos de MDL viáveis. A aplicação do projeto de MDL apresenta viabilidade econômica com geração fotovoltaica mesmo que não aponte uma diferença significativa em termos econômicos quando considerado os indicadores econômicos sem o projeto MDL. Presume-se que esses resultados apresentariam uma diferença mais significativa em gerações superiores ao apresentado no estudo.

**Palavras-chave:** carbono, redução de emissões. geração de energia conectada à rede, projeto de pequena escala.

**Linha de Investigação:** 2: Cidade e Ambiente. **Tópico:** Ambiente, paisagem e alterações climáticas.

### ABSTRACT

The Clean Development Mechanism (CDM) is a flexibility mechanism presented in the Kyoto Protocol to reduce greenhouse gas emissions carried out. Other projects that can be carried out in the CDM have the generation of solar photovoltaic energy. This research aims to study the use of CDM in photovoltaic systems

and the feasibility of CDM projects. Use a suitable CDM methodology for grid-connected renewable energy generation, calculated as CO2 reductions and Certified Emission Reductions for the purpose of determining the photovoltaic generation needed to obtain viable CDM projects. The application of the CDM project is economically viable with photovoltaic generation, which does not present a significant difference in economic terms when considering the economic indicators without the CDM project. It is assumed that these results present a more significant difference in values higher than that presented in the study.

**Keywords:** carbon, emission reduction, grid power generation, small scale project.

**Thematic clusters.** 2: City and Environment **Topic:** Environment, landscape and climate change.

## 1. Introdução

A partir das décadas de 60 e 70 as questões ambientais passaram a ser mais discutidas por parte da comunidade científica principalmente devido ao aumento da degradação ambiental e ao uso intensivo de combustíveis fósseis. Diante disso, a Organização das Nações Unidas (ONU) promoveu, em 1972, a Conferência Internacional para o Meio Ambiente em Estocolmo, na Suécia. A partir de então, outros debates mundiais aconteceram, entre eles, em 1992, aconteceu no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92) (Lopes, 2013).

Um marco importante da Eco-92 foi a adoção da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, do inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), onde iniciou em 1994 com a ratificação de 185 países e a União Europeia, um regime jurídico internacional com o principal objetivo de estabilizar as concentrações de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera causadas pelas interferências antrópicas (Padilha, 2009).

Em 1997 em Quioto, Japão, foi realizada a 3ª edição da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, com a representação de mais de 160 países. Nessa conferência foi estabelecido metas e prazos para redução ou limitação das emissões de GEE, presentes no Protocolo de Quioto. Para ajudar os países a cumprirem suas metas, ajudar o setor privado e os países em desenvolvimento, as reduções de emissões assumiram valores econômicos por estabelecimento de instrumentos de flexibilização estabelecidos no Protocolo, dentre eles o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (Lopes, 2013).

O MDL permite que países desenvolvidos financiem projetos com redução de emissões de GEE em países em desenvolvimento a fim de cumprirem suas metas estabelecidas no Protocolo de Quioto. Dentre os projetos que podem ser executados no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo tem-se os voltados ao setor energético que utilizam fontes renováveis de energia favorecendo para a redução das emissões de GEE (Lopes, 2013).

Considerando que o aproveitamento da energia gerada pelo sol é uma das alternativas energéticas mais promissoras para promover a energia necessária para o desenvolvimento humano e tem ganhado destaque inclusive por razões antes não tão discutidas, como a questão dos impactos ambientais (Pinho & Galdinho, 2014), este estudo utilizará da energia solar fotovoltaica que é aquela obtida através da conversão direta da luz solar em corrente elétrica, utilizando células fotovoltaicas, para avaliar a viabilidades dessa geração de energia nos Projetos de MDL.

Este trabalho teve como objetivo estudar o uso de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo em sistemas fotovoltaicos e a viabilidade da aplicação desses projetos. Para o desenvolvimento da pesquisa apresenta-se a metodologia de projetos de MDL na geração fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica, sendo observado a viabilidade desses projetos. O trabalho é composto por embasamento teórico e estudos da geração solar fotovoltaica integrada a rede.

## 2. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL

O Protocolo de Quioto estabeleceu reduções dos níveis de emissões dos Gases de Efeito Estufa, sendo eles: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), e famílias de hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorocarbonos (PFCs) Padilha,2009; Lopes,2013). Além disso apresenta possibilidades para os países desenvolvidos cumprir seus compromissos em relação a redução e limitação da emissão de GEE, por meio de Mecanismos de Mercado. O Comércio de Emissões/Mecanismos de Flexibilização pode ser por (UNFCCC, 1998): Implementação Conjunta – IC (em inglês, *Joint Implementation*), Comércio de Emissões – CE (em inglês, *Emissions Trading*) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (em inglês: *Clean Development Mechanism – CDM*), sendo esse último o mecanismo de flexibilização utilizado nesse estudo.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo é o único mecanismo de flexibilização que pode ser realizado por participação voluntária de países em desenvolvimento (UNFCCC, 2016).

Os projetos de MDL visam o desenvolvimento sustentável e a diminuição de Gases de Efeito Estufa, sendo esses representados pelo dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>). Os projetos são baseados em uma Linha de Base, que é a representação, das emissões antropogênicas de GEE por fontes de emissão que ocorreriam se não houvesse o projeto de redução de emissões, e as toneladas evitadas de CO<sub>2</sub> com o projeto poderão ser negociadas através da venda das Reduções Certificadas de Emissões – RCEs no mercado mundial (PADILHA, 2009). Para a execução de projetos o MDL requer a aplicação de uma metodologia básica para monitoramento da quantidade de Reduções Certificadas de Emissões – RCEs (UNFCCC, 2016).

A UNFCCC apresenta em relatório, até o ano de 2016, os tipos de atividades de projeto no MDL executados no Brasil, são elas: hidrelétrica, biogás, usina eólica, gás de aterro, biomassa energética, substituição de combustível fóssil, metano evitado, decomposição de N<sub>2</sub>O, utilização e recuperação de calor, reflorestamento e florestamento, uso de materiais, eficiência energética, substituição de SF<sub>6</sub>, redução e substituição de PFC e energia solar fotovoltaica, esse último com apenas um projeto registrado no MDL (MCTIC, 2017).

Para que um projeto obtenha as Reduções Certificadas de Emissões, as atividades do projeto do MDL devem necessariamente passar pelas sete etapas do ciclo do projeto, conforme demonstrado na Figura 1.

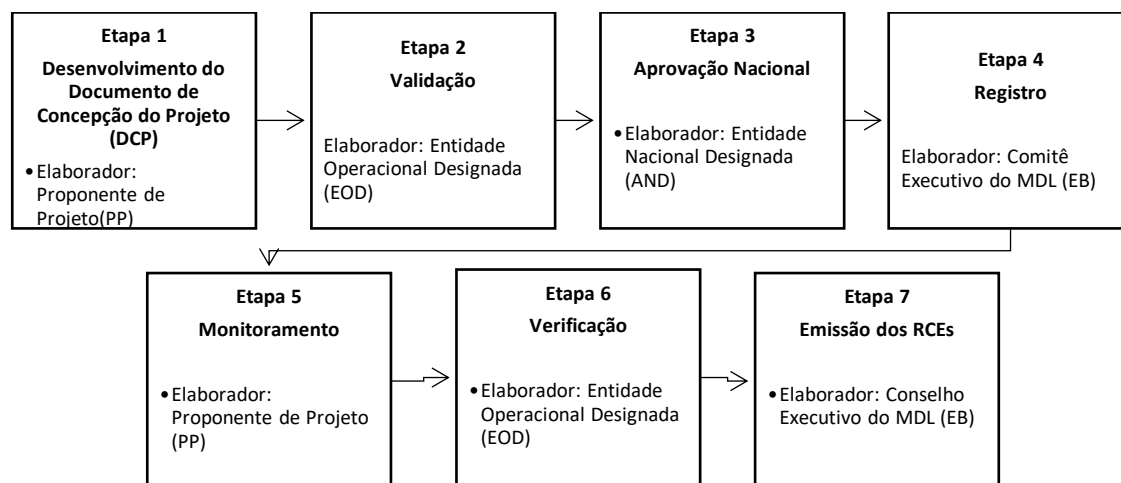


Figura 1 – Ciclo de desenvolvimento de um Projeto MDL e responsáveis por cada etapa. Fonte: Adaptado de MCTIC (2017).

Os projetos de MDL podem ser de modalidade de grande escala ou pequena escala. Os projetos de Pequena Escala foram criados para simplificar o ciclo de projeto e tornar mais ágil, além de diminuir os custos das etapas e de implantação. Os projetos classificados como atividades de pequena escala do MDL devem ser (Padilha, 2009):

- Projeto de energia renovável com capacidade máxima de produção equivalente até 15 MW;
- Projeto de melhoria da eficiência energética, que reduzam o consumo de energia tanto da oferta, como da demanda, em até 15 GWh/ano;
- Projeto que reduzam as fontes de emissões antropogênicas que emitam diretamente menos do que 15.000 tCO<sub>2</sub>e/ ano.

Segundo Padilha (2009), no início de 2009 as RCEs apresentaram um valor médio de US\$ 9,00. A Comissão Econômica para a América Latina e Caribe (CEPAL), indica que é possível trabalhar com a faixa de U\$ 10,00/tonCO<sub>2</sub> a U\$ 60,00/tonCO<sub>2</sub> para a remuneração dos RCEs em projetos de MDL na região. Entre U\$ 10,00/tonCO<sub>2</sub> e U\$ 20,00/tonCO<sub>2</sub> para projetos associados a sumidouros e resgate de carbono em atividades do setor florestal, e entre U\$ 40,00/tCO<sub>2</sub> e U\$ 60,00/tonCO<sub>2</sub> para projetos na área de energia. (CEBDS, 2001 apud Padilha, 2009)

### 3. Energia Fotovoltaica

A energia solar ainda é pouco utilizada tendo em vista ser essa uma forma de energia presente de maneira abundante na Terra. Nos países desenvolvidos essa realidade tem sido alterada devido a concessão de incentivos para a instalação de sistemas fotovoltaicos (Pinho & Galdinho, 2014).

No Brasil, a Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) apresenta normas e sistema de compensação para o consumidor pela energia elétrica injetada na rede. Em novembro de 2015 a Resolução nº 482 foi atualizada com a publicação da Resolução Normativa nº 687/2015 com

alterações a respeito da mini e da microgeração, assim como a produção de energia solar, criando novas possibilidades de negócio.

Os sistemas Fotovoltaicos são classificados como: sistemas isolados ou *off grid*, que utiliza um conjunto de baterias para armazenar a energia gerada, e sistemas conectados à rede ou *on grid*, onde a energia elétrica é injetada na rede elétrica gerando créditos de energia. Para este estudo serão utilizados sistemas de geração conectados à rede.

#### 4. Materiais e Métodos

O método utilizado para o desenvolvimento do estudo foi de pesquisa aplicada, sendo dividida em três etapas: levantamento bibliográfico, aquisição de dados e tratamento e análise dos dados. As etapas mencionadas foram desenvolvidas no período de agosto de 2018 a novembro de 2019.

A etapa do levantamento bibliográfico foi desenvolvida em consultas de materiais especializados, tais como, livros, artigos publicados e periódicos que abordam a temática do estudo, relatórios e informações da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) e resoluções normativas. Os dados obtidos nessa etapa serviram de base para o desenvolvimento do trabalho nas etapas subsequentes que consistem na aquisição, tratamento e análise dos dados.

A segunda etapa consistiu na aquisição de dados a respeito de sistemas de geração de energia fotovoltaica. Os sistemas escolhidos foram elaborados por Valente (2019) em 11 unidades consumidoras de diferentes classes tarifárias apresentando a viabilidade econômica da utilização da geração fotovoltaica em cada uma, porém não apresenta no estudo de Valente a quantificação e a viabilização da aplicação a Projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

A terceira etapa foi o tratamento dos dados considerando a metodologia do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo que se adequa ao caso da geração de energia fotovoltaica. Por fim, realizou-se a análise dos dados para averiguar a viabilidade do projeto de MDL aplicado a sistemas fotovoltaicos.

##### 4.1 Quantificação das Emissões

Nessa etapa foi utilizada metodologia de cálculo elaborada/aprovada pelo Comitê Executivo do MDL onde o objetivo é estimar quantitativamente as emissões evitadas de Gases de Efeito Estufa – GEE de um projeto e MDL em relação as fontes de emissões, as chamadas emissões de linha de base, e as fugas, que são as emissões do projeto. Para tal, considerou-se a seguinte metodologia de MDL: AMS-I.D – “Geração de energia renovável conectada à rede”.

###### 4.1.1 AMS-I.D – “Geração de energia renovável conectada à rede”

A metodologia AMS-I.D é utilizada para projetos de geração de energia renovável, como, fotovoltaica, hidrelétrica, de maré/ondas, eólicas, geotérmicas e de biomassa renovável, com fornecimento de eletricidade a uma rede nacional ou regional ou para fornecimento de eletricidade a uma instalação de consumo identificada por meio de rede nacional/regional (UNFCCC, 2014a). Essa metodologia também foi utilizada por Lopes (2013) para estimar a redução de emissões de GEEs em sistemas fotovoltaicos conectados à rede com geração dentro do limite máximo classificado na metodologia de 15MW.

De acordo com a metodologia adotada, na construção de novos projetos ocorre, em alguns casos, emissão de carbono, que são chamadas emissões de projeto, porém, por se tratar de energia solar fotovoltaica considera que não há emissões de projeto. Outra consideração que deve ser feita é em relação as emissões de fuga, que são aquelas decorrentes da atividade do projeto, que geralmente estão ligadas a projetos de grande escala. Os projetos de pequena escala de energia solar fotovoltaica possuem emissões de fuga nula (Lopes, 2013).

Diante disso, as reduções de emissões de CO<sub>2</sub>e de cada projeto fotovoltaico é calculada pela Equação 1, sendo (UNFCCC, 2014a):

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (1)$$

Onde:

$ER_y$ : Reduções das emissões no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/ano);

$BE_y$ : Emissões da linha de base no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/ano);

$PE_y$ : Emissões do projeto no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/ano), no caso em questão é zero;

$LE_y$ : Emissões decorrentes das fugas no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/ano), no caso em questão é zero.

Considerando que as emissões de projeto e as emissões das fugas são nulas, as reduções de emissões será igual às emissões de linha de base e para o cálculo de emissões de linha de base ( $BE_y$ ), utiliza-se a Equação 2 (UNFCCC, 2014a):

$$BE_y = EG_{PJ,y} \times EF_{grid,y} \quad (2)$$

Onde:

$BE_y$ : Emissões da linha de base no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/ano);

$EG_{PJ,y}$ : Quantidade líquida de eletricidade fornecida à rede elétrica como resultado da atividade de projeto de MDL no ano  $y$  (MWh);

$EF_{grid,y}$ : Fator de emissão de CO<sub>2</sub> de rede elétrica no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/MWh).

Os componentes da Equação 2 são obtidos com a Equações 3 e Equação 4 apresentadas a seguir. A Equação 3 representa o cálculo da quantidade líquida de eletricidade fornecida à rede elétrica ( $EG_{PJ,y}$ ) para projetos de energia solar (UNFCCC, 2014a):

$$EG_{PJ,y} = EG_{PJ\_Add,y} \quad (3)$$

Onde:

$EG_{PJ\_Add,y}$ : Quantidade de geração líquida de eletricidade fornecida à rede no ano  $y$  pela planta/unidade do projeto que foi adicionada ao projeto atividade (MWh).

O cálculo do fator de emissão de CO<sub>2</sub> da rede elétrica no ano  $y$  ( $EF_{grid,y}$ ) é feito considerando uma margem combinada (CM), que consiste na combinação dos fatores da margem de operação (OM) e da margem de construção (BM), conforme apresentado na Equação 4 (UNFCCC, 2014a):

$$EF_{grid,CM,y} = EF_{grid,OM,y} \times W_{OM} + EF_{grid,BM,y} \times W_{BM} \quad (4)$$

Onde:

$EF_{grid,BM,y}$ : Fator de emissão de CO<sub>2</sub> da margem de construção no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/MWh);

$EF_{grid,OM,y}$ : Fator de emissão de CO<sub>2</sub> da margem de operação no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/MWh);

$w_{OM}$ : Ponderação do fator de emissão da margem de operação (%);

$w_{BM}$ : Ponderação do fator de emissão da margem de construção (%);

Os valores de peso da ponderação dos respectivos fatores de emissão apresentados na Equação 4 são determinados como sendo  $w_{OM} = 0,75$  e  $w_{BM} = 0,25$  para projetos de energia solar pela “Ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema elétrico” - Versão 07.0 (UNFCCC, 2014b).

Os valores de Fator de emissão de CO<sub>2</sub> tanto da margem de construção como da margem de operação necessários para o cálculo da Equação 4 foram obtidos no site do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) nos dados sobre Fatores de Emissão de CO<sub>2</sub> pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil com ano base de 2018. Os valores para os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> da margem de construção e margem de operação adotados foram, respectivamente, 0,1370 tCO<sub>2</sub>/MWh e 0,5390 tCO<sub>2</sub>/MWh.

## 4.2 Sistema de Geração Fotovoltaica

Os sistemas de geração de energia fotovoltaica utilizados como estudo de caso foram elaborados por Valente (2019), que apresentou a análise econômico-financeira da utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Pará, observando qual classe tarifária apresenta menor custo com energia e estabeleceu um comparativo entre diferentes classes tarifárias. Os projetos foram considerados com vida útil de 25 anos.

Os indicadores econômicos observados no estudo de Valente (2019) foram *Payback* Simples, *Payback* Descontado, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Rentabilidade para as diferentes classes tarifárias.

O *Payback* se refere ao tempo que o investimento inicial para implantação do projeto seja recuperado, ou seja, seu tempo de retorno. O *Payback* Simples é um método que não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, já o *Payback* Descontado leva em consideração esse valor (Bischoff, 2013).

O Valor Presente Líquido (VPL) refere-se a soma do valor presente de todos os períodos que compõem o fluxo de caixa, nesse caso o período total foi de 25 anos, levando em consideração uma taxa de desconto definida no estudo. Se o VPL for positivo significa que o capital investido no projeto foi recuperado, caso aconteça o contrário e o VPL for negativo, significa que o projeto resultará em prejuízos (Bischoff, 2013).

A Taxa Interna de Retorno (TIR), também chamada de taxa de espera, é a taxa de juros projetada no fluxo de caixa do projeto do investimento analisado (Bischoff, 2013).

A Rentabilidade se trata da taxa de juros efetiva que será calculada com a conclusão do projeto, também representada pela taxa realizada (Bischoff, 2013).

## 4.3 Elaboração de Cenários



Considerando os dados obtidos na revisão de literatura em relação a Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), serão considerados os cenários para recebimento dos créditos nos valores de: 10 US\$/tonCO<sub>2</sub>, 20 US\$/tonCO<sub>2</sub> e 30 US\$/tonCO<sub>2</sub>, para as classes apresentadas por Valente (2019), podendo caracterizar em relação aos valores, respectivamente, os cenários como: pessimista, neutro e otimista, tendo em vista que os valores pagos em RCEs não ultrapassam muito os 30 US\$/tonCO<sub>2</sub>, assim como foi considerado por Padilha (2009), apresentados na Tabela 1.

Cenário	Descrição	Característica	Valor da RCEs (US\$/tonCO <sub>2</sub> )
1	com substituição para Geração Fotovoltaica	Pessimista	10
2	com substituição para Geração Fotovoltaica	Neutro	20
3	com substituição para Geração Fotovoltaica	Otimista	30

Tabela 1 – Cenários de Referência Fonte: Adaptado de PADILHA (2009).

#### 4.4 Custos de um Projeto MDL

Neste estudo considerou-se os investimentos referentes a implantação e a operação do projeto de acordo com as fases do ciclo do projeto MDL. Os investimentos serão calculados de acordo com a média dos custos apresentados por UNESA (2005) para projetos de MDL de pequena escala conforme apresentado no Quadro 1.

Fase do Ciclo do Projeto de MDL	Faixa de Custos (US\$)	
Desenvolvimento da Concepção do Projeto / Design	18.000 - 50.000	
Validação	10.000 - 30.000	
Negociação do Contrato	10.000 - 20.000	
Registro	tCO <sub>2</sub> anual	US\$
	<= 15.000	5.000
	> 15.000 e <= 50.000	10.000
	> 50.000 e <= 100.000	15.000
	> 100.000 e <= 200.000	20.000
Monitoramento	3.000 - 6.000 *	
Verificação		
Certificação		

Expedição das Certificações - RCEs	2% *	Sobre o valor da RCE para gastos administrativos
Venda RCEs	3% - 15% *	Sobre o valor da RCEs

Quadro 1 – Estimativa dos custos por etapas do ciclo em projetos de pequena escala Fonte: Adaptado de UNESA (2005).

\*Custos anuais

## 5. Resultados e Discussão

Por meio da execução da metodologia de MDL AMS-I.D, foi possível quantificar as Reduções das Emissões de CO<sub>2</sub>, em tCO<sub>2</sub>e/ano, levando em consideração os dados apresentados no estudo elaborado por Valente (2019) e os valores obtidos no site do MCTIC.

No estudo de Valente (2019) foi utilizada a geração minoritária de 119,765 MWh/ano para todas as unidades consumidoras no ano inicial do projeto, sendo possível quantificar as reduções de emissões ( $ER_y$ ) em 52,52 tCO<sub>2</sub>/ano. Com esses dados foram calculadas as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) apresentadas na Tabela 2, de acordo com os cenários considerados.

Cenário	Característica	Valor da RCEs (US\$/tonCO <sub>2</sub> )
1	Pessimista	525,21
2	Neutro	1.050,41
3	Otimista	1.575,62

Tabela 2 – Quantificação das RCEs considerando as reduções de emissões no ano de implantação do projeto e os cenários analisados Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PADILHA (2009).

Com base nos dados apresentados por UNESA (2005), foi utilizada a média da faixa de custo por fase do ciclo do projeto possibilitando estimar os investimentos para o projeto de MDL de pequena escala. Além disso, os valores de custo para a expedição e venda das RCEs foram calculados de acordo com o cenário analisado, conforme apresentado no Quadro 2.

Fase do Ciclo do Projeto de MDL	Custo considerado para o estudo (US\$)	
Desenvolvimento da Concepção do Projeto / Design	34.000,00	
Validação	20.000,00	
Negociação do Contrato	15.000,00	
Registro	5.000,00	
Monitoramento	4.500,00*	
Verificação		
Certificação		
Expedição das Certificações - RCEs	Cenário 1	10,50*
	Cenário 2	21,01*
	Cenário 3	31,51*

Venda RCEs	Cenário 1	47,27*
	Cenário 2	94,54*
	Cenário 3	141,81*

Quadro 2 – Custos considerado para o estudo conforme fase do projeto. Fonte: Elaboração própria a partir de dados de UNESA (2005).

\*Custos anuais

Os valores das RCEs e dos custos por fase do ciclo do projeto foram transformados para real (R\$ - moeda brasileira), considerando a cotação do dólar (US\$) de R\$4,20.

Considerou-se a influência dos custos de investimento da aplicação do projeto de MDL e as custos anuais do projeto durante toda vida útil do sistema de geração após o ano de implantação. Obteve-se, assim, os resultados que os cenários analisados com a aplicação do MDL apresentam em comparação com os dados de indicadores econômicos apresentados por Valente (2019) nas 11 unidades consumidoras de diferentes classes tarifárias.

Diante dos resultados, verificou-se que o tempo de retorno, representado pelos indicadores *Payback* Simples e *Payback* Descontado, com a aplicação do projeto MDL nas unidades consumidoras de diferentes classes tarifárias não apresentaram alterações em nenhum dos cenários em comparação com o tempo de retorno apresentado por Valente (2019) que não possui a aplicação do MDL.

Os outros indicadores econômicos observados: Valor Presente Líquido - VPL, Taxa Interna de Retorno - TIR e Rentabilidade apresentaram alterações em todas as unidades consumidoras de diferentes classes tarifárias, comparados aos valores dos mesmos indicadores apresentados no estudo de Valente (2019), conforme apresentado, respectivamente, no Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3. As alterações apresentadas são de redução nos valores desses indicadores conforme os cenários analisados, os resultados obtidos no cenário pessimista foram os menores, apresentando um aumento gradativo conforme os próximos cenários, neutro e otimista. Também foi possível observar que quanto menor a classe tarifária mais significativa foi a redução dos indicadores econômicos.

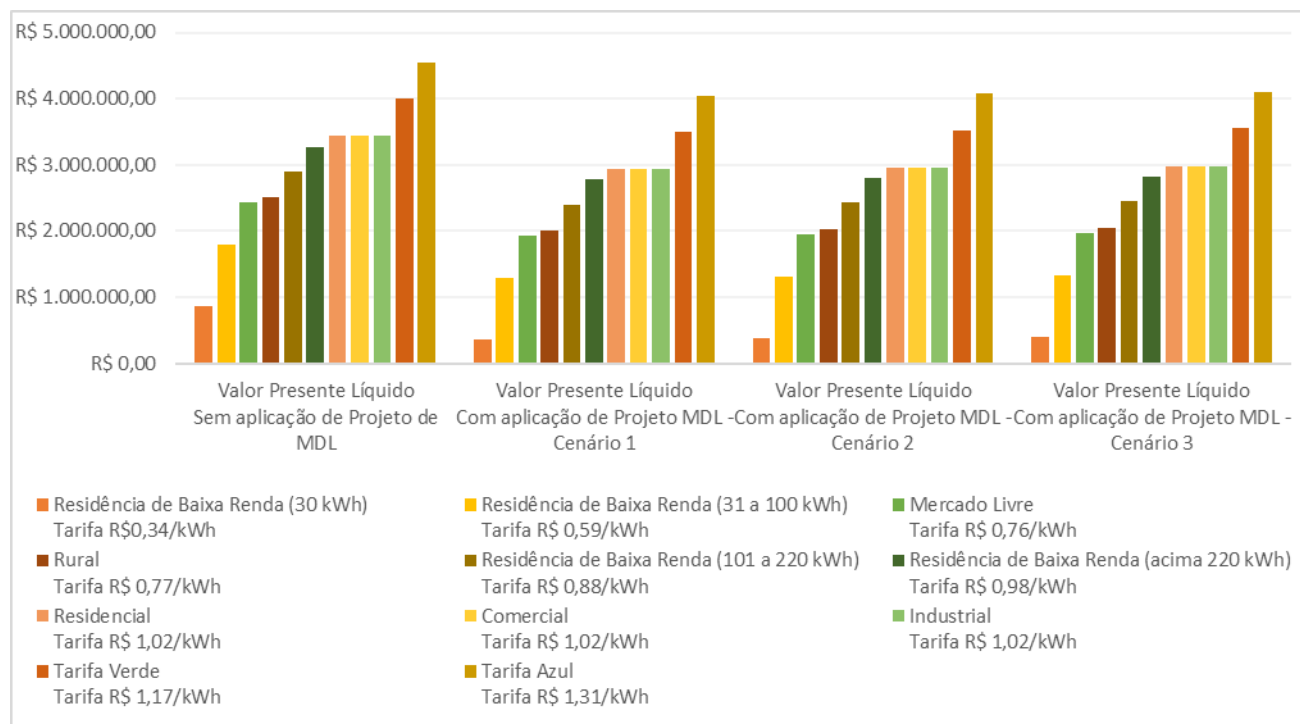


Gráfico 1 – Valor Presente Líquido para diferentes classes tarifárias no estado do Pará sem e com aplicação de Projeto de MDL. Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Valente (2019).

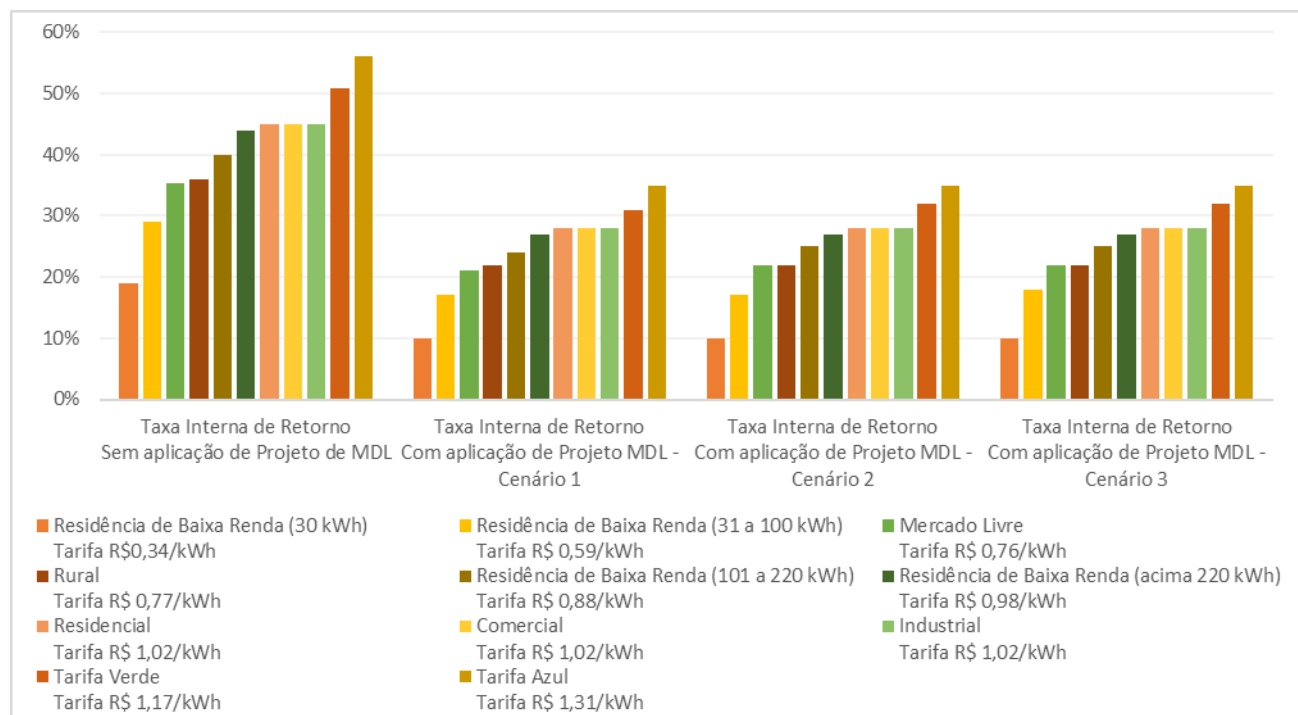


Gráfico 2 – Taxa Interna de Retorno para diferentes classes tarifárias no estado do Pará sem e com aplicação de Projeto de MDL. Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Valente (2019).

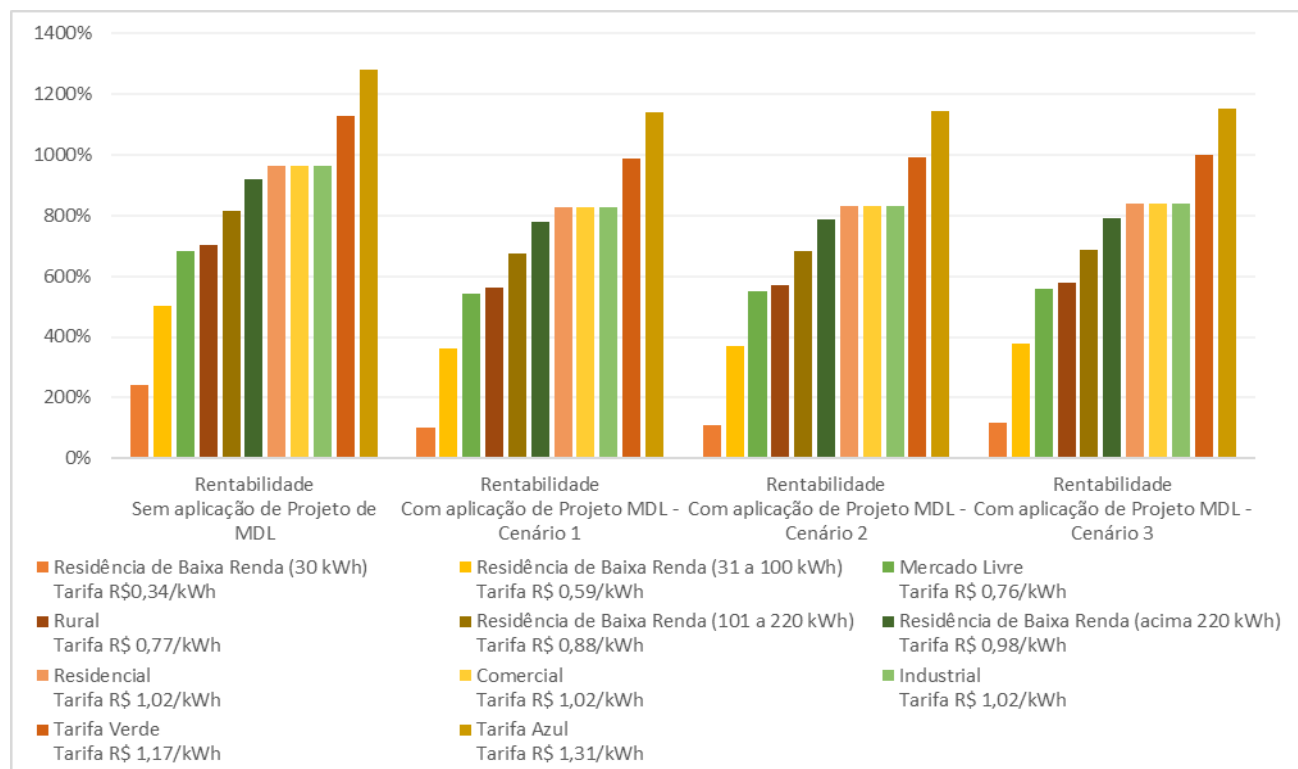


Gráfico 3 – Rentabilidade para diferentes classes tarifárias no estado do Pará sem e com aplicação de Projeto de MDL. Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Valente (2019).

Apesar disso, a aplicação do projeto de MDL apresenta viabilidade econômica ao projeto de geração fotovoltaica mesmo apresentando redução em alguns dos indicadores econômicos, considerando que o VPL se manteve positivo caracterizando que as receitas ainda são maiores que as despesas e o projeto é viável, a TIR também se manteve dentro do considerável viável e a Rentabilidade ainda apresenta valores elevados. Além da viabilidade econômica, deve-se ser considerada a viabilidade ambiental que a adoção do projeto de MDL irá proporcionar.

Um fator a ser considerado é a matriz energética do Brasil, composta em sua maioria por geração hídrica, uma fonte renovável de energia. Os dados de fator de emissão foram utilizados considerando essa fonte energética. Um projeto com fonte de energia não renovável, como exemplo a de combustíveis fósseis, irá obter maiores resultados em relação a emissões reduzidas, pois essa fonte possui maior geração de GEE.

No último relatório apresentado pela UNFCCC (MCTIC, 2017) a respeito dos projetos de MDL no Brasil até janeiro de 2016, o total de projetos registrados classificados em pequena escala representavam 33% dos projetos de MDL no país. Considerando a hipótese da utilização de 33% de toda geração distribuída no Brasil de energia solar, com base em dados de 2018 apresentada nos Boletins de Monitoramento do Sistema Elétrico disponível no site do Ministério de Minas e Energia, para aplicação de projetos de MDL em pequena escala, seria possível quantificar as reduções de emissões ( $ER_p$ ) em 34.833,11 tCO<sub>2</sub>/ano com o potencial de comercialização de RCEs no Brasil apresentado na Tabela 3.

Cenário	Característica	Valor da RCEs (US\$/tonCO <sub>2</sub> )	Valor da RCEs (US\$/tonCO <sub>2</sub> )
1	Pessimista	10	348.331,07
2	Neutro	20	696.662,15
3	Otimista	30	1.044.993,22

Tabela 3 – Potencial de RCEs considerando a representação de projetos MDL de pequena escala no Brasil. Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PADILHA (2009).

Diante do apresentado na Tabela 3 é possível observar que a arrecadação de recursos financeiros a nível de país seria significativa e mais vantajosa em relação a aplicação de projetos em pequenas unidades consumidoras, como apresentado no estudo de Valente (2019), residencial, comercial e rural. Esse potencial seria ainda maior realizando uma aplicação mais abrangente em projetos de grande e pequena escala a nível de país.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propôs, como objetivo geral, estudar o uso de projetos de MDL em sistemas fotovoltaicos e a viabilidade da aplicação desses projetos. Para isso foi realizado o levantamento bibliográfico a respeito da metodologia e aplicação de projetos de MDL, sendo possível quantificar os investimentos necessários em cada fase do ciclo do projeto de MDL, calcular o retorno financeiro e analisar a diferença apresentada no retorno financeiro em cada unidade consumidora de classe tarifária diferente apresentado no sistema de geração fotovoltaica escolhido como base do estudo.

Com relação as dificuldades para o desenvolvimento do trabalho, o levantamento de dados a respeito da aplicação de projetos de MDL foi uma etapa difícil do estudo. Foi possível observar que ainda não existe muitos estudos voltados à aplicação de projetos de MDL no Brasil e os arquivos em relação as metodologias que podem ser utilizadas dependendo do tipo de projeto MDL disponíveis no site do MDL - UNFCCC estão disponíveis em inglês, o que demandou mais tempo na escolha da metodologia devido a realização da tradução desses materiais.

Tendo em vista os dados gerados nesse estudo, observou-se que a aplicação de projetos de MDL na geração de energia fotovoltaica conectada à rede apresenta viabilidade, porém os indicadores econômicos apresentam resultados inferiores se comparado aos projetos de geração fotovoltaica conectada à rede sem aplicação do MDL.

Os resultados dos indicadores econômicos VPL, TIR e Rentabilidade tiveram redução mais significativa nos valores das unidades consumidoras com menores classes tarifárias. Os projetos se mantiveram viáveis, porém houve uma expressiva redução se comparado ao projeto sem a aplicação do MDL. Essa redução de valores dos indicadores econômicos foi amenizando à medida que as classes tarifárias apresentam maior valor da tarifa .

Pode-se considerar que esses resultados apresentariam uma viabilidade mais significativa em gerações superiores ao apresentado no estudo, considerando que quanto maior a geração de energia pela nova fonte utilizada no projeto MDL, maior será a quantidade de emissões reduzidas, possibilitando assim maior geração de créditos de carbono para comercialização em RCEs.

O ciclo de desenvolvimento do projeto de obtenção de certificação do projeto de MDL é um fator que dificulta a viabilidade deste tipo de projeto devido a sua complexidade, além do elevado investimento quantificado para cada fase do projeto. Outro fator a se considerar é a variação da cotação dos valores de comercialização das RCEs que pode favorecer a viabilização do projeto, como também pode ocasionar o efeito contrário e não favorecer a comercialização dos créditos.

Diante do exposto sobre o potencial de arrecadação da comercialização de créditos de carbono apresentados a nível de Brasil, verifica-se que existe um potencial significativo de aquisição de recursos por meio de RCEs com a aplicação de projetos em pequena escala nos sistemas com geração solar de geração distribuída já instalados.

Em função de poucos estudos relacionados a aplicação de projetos de MDL, recomenda-se para trabalhos futuros a realização da aplicação de projetos de MDL em diferentes unidades consumidoras e em projetos com diferentes gerações de energia para fazer o comparativo entre projetos com baixa e alta geração. Por fim, sugere-se também a aplicação de projetos de MDL em sistemas de geração energética de fontes não renováveis, tendo em vista que esses apresentarão maiores resultados de crédito de carbono considerando que esses sistemas emitem mais GEE.

## 7. REFERÊNCIAS

ANEEL. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. (2012). Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

ANEEL. Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015. (2015). Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

BISCHOFF, L. (2013). *Análise de Projetos de Investimentos: Teoria e Questões Comentadas*. Ed. Ferreira.

LOPES, D. G. (2013). *Análise de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Estudo de Caso dos Projetos da Chamada Nº13 da ANEEL*. Campinas, SP.

MCTIC. (2017). *Status dos Projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil: Última compilação do site da UNFCCC e da CIMGC: 31 de janeiro de 2016*.

PADILHA, J. L. (2009) *Determinação da potência mínima de termoeletricas para viabilização de projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo no estado do Pará*. Belém, PA.

PINHO, J. T. e GALDINO, M. A. (2014) *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Grupo de trabalho de energia solar - GTES. CEPREL – DTE – CRESESB. Rio de Janeiro, RJ.

UNESA - Asociación Española De La Industria Eléctrica. (2005). *Metodología para la implementación de los mecanismos flexibles de Kioto - Mecanismo de desarrollo limpio en Latinoamérica : guía latinoamericana del MDL: Programa Synergy*. [S. l.]: UNESA. 380 p.

UNFCCC - United Nations Framework Convention On Climate Change. (1998): *Kyoto Protocol 1997*. Kyoto, Japan. — (2014a): *Clean Development Mechanism - Small-scale Methodology: AMS-I.D - Grid connected renewable electricity generation*. Version nº 18, nov. 2014. — (2014b): *Methodological tool: Tool to calculate*



the emission factor for an electricity system. Version 07.0, nov. 2014. — (2016): CDM Methodology Booklet. 8. ed.

VALENTE, R. O. (2019). Análise de Indicadores Econômico Financeiro de Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede Segundo a Tarifa de Energia. Belém, PA.