



ESTIMATIVA DE CRÉDITO DE CARBONO NA GERAÇÃO DE ENERGIA COM FONTES RENOVÁVEIS NA ILHA DE MARIMARITUBA-SANTARÉM-PA

Veronica Solimar dos Santos¹ e Claudio José Cavalcante Blanco²

Resumo: A estimativa de crédito de carbono com geração de energia renovável, na Ilha de Marimarituba, município de Santarém-PA, é analisada. Modelos para as reduções de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para geração de energia a partir de fontes renováveis foram desenvolvidos. Tais modelos estão presentes nas metodologias de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) de pequena escala. A demanda anual de energia da comunidade foi determinada, sendo verificados os tipos de demanda, obtendo-se uma demanda de 10,2 kW e um consumo anual projetado de 20,6 MWh. Assim, utilizou-se o modelo da Metodologia AMS I.L, estimando-se uma redução de emissão de 37,81 tCO₂/ano, que totaliza 378,10 tCO₂ para um projeto com vida útil de 10 anos, podendo-se obter US\$ 4.964,45 (R\$ 20.056,38) pelas toneladas de CO₂ que deixaram de ser emitidas. O abastecimento da ilha foi definido como sendo através de um sistema de geração hidrocínético, o qual possui um payback de 4 anos, considerando-se os dividendos com a venda dos créditos de carbono. Certamente, para instalação do sistema, a comunidade precisará de investimentos públicos e/ou privados. Assim, a proposta de investimento em sistemas de geração de energia renovável é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável da Amazônia, pois possibilita maior autonomia aos sistemas isolados com a elaboração de seus respectivos projetos de MDL, arrecadando fundos para as despesas de operação e manutenção de tais sistemas, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa. Mecanismos de desenvolvimento limpo. Sistemas isolados. Amazônia.

1 Introdução

Mesmo com grandes avanços tecnológicos muitas comunidades ainda se encontram sem energia elétrica no Brasil, em 2000, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000) existiam na Amazônia legal 769.270 domicílios rurais sem energia elétrica, enquanto que na região Norte existiam 478.072 domicílios. Entre 2000 e 2010 o número de domicílios sem energia elétrica nesta região diminuiu de aproximadamente 51,63%, reduzindo para um total de 231.220 domicílios. Tal redução deve-se ao fato de que o Programa Luz para Todos do Governo Federal (BRASIL, 2003) realizou aproximadamente dois milhões de ligações de energia elétrica no Brasil entre 2004 e 2009. Porém, ainda há muito a se fazer. Uma possível alternativa para esta problemática é a implementação de projetos de geração de energia que utilizem fontes renováveis e que, a partir deles, seja feita a elaboração de projetos para a obtenção de

créditos de carbono com o intuito de se obter as conhecidas Reduções Certificadas de Emissões (RCE).

O Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 2013) prevê um aumento das temperaturas médias globais entre 2,6 e 4,8 °C até o final do século. Os Gases do Efeito Estufa (GEEs) são as maiores fontes responsáveis pelo aquecimento global (LORENZONI NETO, 2009). Nesse contexto, Goldemberg e Villanuez (2003) afirmaram que dentre todos os GEEs, o CO₂ possui uma participação de 60% no aquecimento global. Além disso, 57% de todo CO₂ emitido no mundo tem sua origem na geração de energia térmica, a qual, nas comunidades isoladas da Amazônia, é produzida principalmente por geradores a diesel (BLANCO; SECRETAN; MESQUITA, 2008). Assim, o presente trabalho visa realizar a estimativa de crédito de carbono, determinando as reduções de emissões de GEEs para projetos de geração de energia elétrica de fonte renovável, tendo como

¹E-mail: veronica.santos@ifpa.edu.br

²E-mail: blanco@ufpa.br

estudo de caso a vila de Marimarituba Santarém-PA. Estudo semelhante foi desenvolvido por Matos et al. (2015), entretanto para uma pequena comunidade do estado do Amapá.

1.1 O efeito estufa e as mudanças climáticas

O aquecimento global tem como consequência as mudanças climáticas, e é considerado um dos principais problemas ambientais globais da atualidade, porque vem afetando todo o planeta e comprometendo irremediavelmente o equilíbrio dos ecossistemas, causando eliminação da biodiversidade, degelo dos polos, inundações de áreas litorâneas, danos aos recifes de coral, savanização de florestas tropicais, aumento da desertificação de áreas, elevação da frequência de secas, enchentes, redução no rendimento de safras, aumento da ocorrência de furacões e ciclones, danos à saúde das populações em consequência de ondas de calor e propagação de doenças contagiosas, provocando graves prejuízos generalizados à maioria dos países (SEIFFERT, 2009).

Teixeira, Lopes e La Scala (2010) explicaram que o efeito estufa é produzido por uma camada de gases existentes na atmosfera que impedem que o calor se dissipe em níveis que façam o Planeta se resfriar. Ou seja, os raios solares atravessam a atmosfera e refletem sobre a Terra, mas o calor fica preso na camada de GEE que paira sobre o planeta; gases esses emitidos conforme a atividade humana, sendo os mais comuns o vapor da água, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e o ozônio (O₃), gerando outros gases como o CFC, ainda mais nocivo. Quanto maior o volume de GEEs na atmosfera, maior será o aumento da temperatura média que impacta o clima e, conseqüentemente, o meio ambiente.

Confirmando esta ideia, Frondizi (2009) descreveu que a intensificação do efeito estufa está diretamente ligada às atividades do homem, principalmente aquelas oriundas da queima de combustíveis fósseis. Essa queima ocorre nos usos domésticos e comerciais, nas atividades de transporte, na geração de energia, na indústria e na agricultura. Deste modo, o homem do início do século XXI está poluindo mais o meio ambiente com os processos industriais, atividades agropecuárias,

inadequado tratamento do lixo e com o aumento do desmatamento. O problema da mudança climática está diretamente ligado às opções energéticas adotadas pelos governantes de cada país, além do padrão de consumo das pessoas (SEIFFERT, 2009). Alguns países utilizam energia não renovável em grande quantidade, produzidas principalmente por termelétricas que são movidas por carvão, óleo diesel ou mesmo gás natural. Já outros países utilizam energia renovável, produzidas por hidrelétricas, centrais eólicas e solares. Entretanto, todos os países sofrerão com os impactos ambientais, econômicos e sociais ocasionados pela implementação de uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis. A Figura 1 apresenta uma simulação de como o CO₂ move-se na atmosfera.

1.2 Protocolo de Kyoto

Na década de 1980 as evidências científicas relacionadas às emissões de GEEs provenientes das atividades humanas começaram a despertar a preocupação pública. Inspiraram também uma série de conferências internacionais, que apelavam para a urgência de um tratado mundial para enfrentar o problema. Em 1990, a assembleia geral das Nações Unidas respondeu a esses apelos estabelecendo o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima (INC/FCCC). O INC/FCCC preparou a redação da convenção, a qual foi adotada em 9 de maio de 1992 na sede das Nações Unidas em Nova York. A convenção foi aberta para assinatura em junho de 1992 na Cúpula da Terra no Rio de Janeiro, e o Brasil foi o primeiro país a assiná-la, em 4 de junho de 1992, e o Congresso Nacional a ratificou em 28 de fevereiro de 1994, sendo que a convenção entrou em vigor no Brasil no dia 29 de maio de 1994. Com a adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, os governos reconheceram que ela poderia ser a propulsora de ações mais enérgicas no futuro, pois ao estabelecer um processo permanente de revisão, discussão e troca de informações, a convenção possibilita a adoção de compromissos adicionais em resposta a mudanças no conhecimento científico e nas disposições políticas.

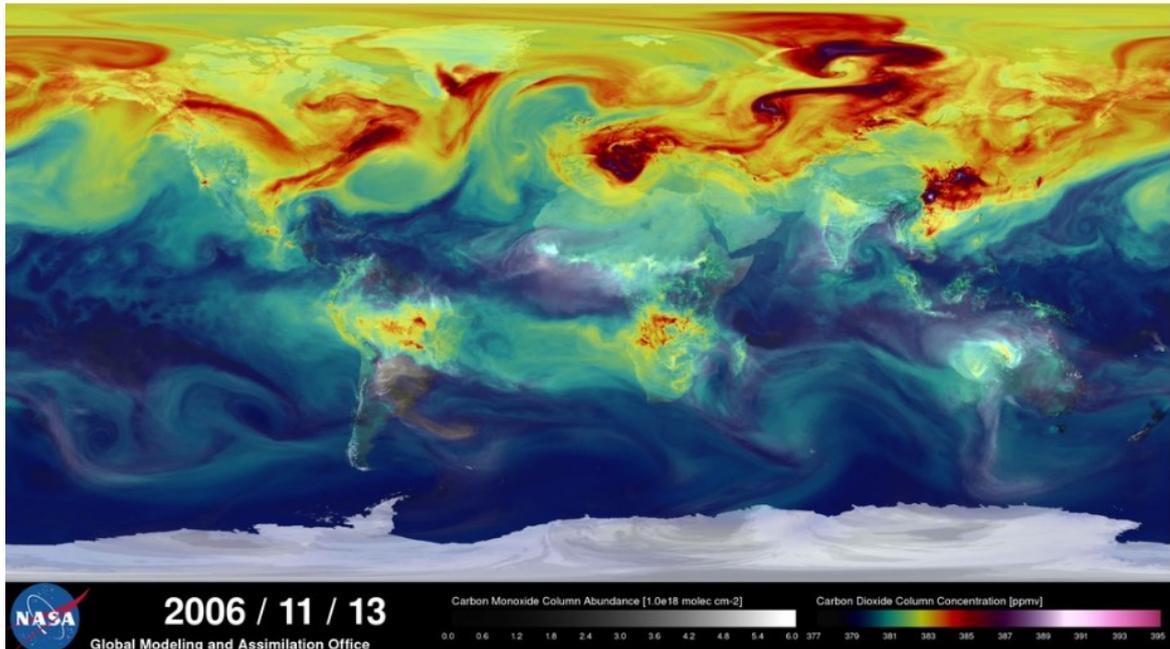
A partir disso, em 21 de março de 1994, entra em vigor a Convenção do Clima. Assim, os países signatários da Convenção-

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.18, n. 1, p.17-29, jan./jun. 2016

Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança no Clima (CQNUMC) passaram a se reunir anualmente para discutir as ferramentas a serem utilizadas a fim de conter as emissões de gases na atmosfera.

Caso os países pertencentes ao quadro 1, do Protocolo de Kyoto, não conseguissem alcançar suas metas, haveriam de adquirir créditos de carbono.

Figura 1 - Modelo computacional criado pela NASA para simular como o CO₂ move-se na atmosfera



Fonte: NASA (2014)

Por consequência dos estudos ambientais que mostram o papel do homem como causador do aquecimento global, pela produção dos GEEs, foi apresentado na 3ª Conferência das Partes, conhecida como CPO3, realizada entre os dias 1 e 12 de dezembro de 1997, na cidade de Kyoto no Japão, o tratado internacional chamado de Protocolo de Kyoto (QUIOTO, 1997). O evento contou com a presença de 166 representantes de diferentes países. O protocolo veio firmar compromissos e estabelecer metas, para que a nação com altas taxas de emissão de GEEs diminuíssem os níveis de emissão desses gases, fato que outros tratados traçavam de forma mais genérica, sem critérios.

O mandato de Berlim propôs que os países desenvolvidos assumissem o compromisso de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa para os níveis de 1990, até o ano 2000, porém as partes decidiram que esse nível de redução não permitiria atingir o objetivo de longo prazo estabelecido na convenção. Entretanto, ficou acordado que um Protocolo para a Convenção deveria ser negociado, estando

pronto para aprovação até a 3ª Conferência das Partes (COP3). Foi durante a COP3 que o Protocolo de Kyoto, que, inicialmente, contou com o comprometimento de 39 países para a redução das emissões de GEEs na atmosfera mediante metas e prazo estipulado, foi discutido e negociado (LIMIRO, 2009).

O Protocolo de Kyoto somente entrou em vigência internacional no ano de 2005, quando foi possível atingir a quantidade mínima de assinaturas dos países, em conformidade com o artigo 25 do aludido protocolo.

O maior problema para a ratificação do Protocolo de Kyoto foi de caráter econômico. Já que redução dos gases poluentes implica, diretamente, em adoção de medidas que exigem recurso financeiro para sua implementação, sem considerar no que se deixa de ganhar, uma vez que grande parte das atividades industrializadas, para não falar todas, que movimentam a economia mundial, emitem gases poluentes de forma intensa.

1.3 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

No artigo 12 do Protocolo de Kyoto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo é modalidade de mecanismo de redução de gases poluentes. Também chamado de mecanismo de flexibilização, pois possibilita que países em desenvolvimento possam participar de políticas para a redução da emissão dos GEEs, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Lorenzoni Neto (2009) define MDL, como sendo um instrumento jurídico econômico que reduz a emissão de GEEs na atmosfera por fontes de emissão ou sumidouros de GEEs em países não pertencentes ao Anexo I da Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima (CQMC), como o Brasil. O mecanismo gera créditos de carbono do tipo RCE, que poderão ser utilizados por agentes econômicos domiciliados em países integrantes do Anexo I da referida convenção para a compensação ecológica suplementar do cumprimento de suas obrigações de redução de emissão de GEE, fixadas pelo protocolo de Kyoto.

Existem duas finalidades nos projetos de MDL, uma que irá beneficiar o país do Anexo I, que precisa reduzir a emissão dos gases poluentes e não conseguiu atingir sua meta; e outra que irá beneficiar o país em desenvolvimento, já que terá programas de desenvolvimento sustentável em seu território, contribuindo para a redução destes gases. O mecanismo prevê três modalidades: unilateral, bilateral e multilateral.

Na unilateral, o país não pertencente ao anexo I implementa, em seu território, um projeto que irá diminuir os gases poluentes, objetivo do Protocolo de Kyoto, gerando para ele um crédito, que poderá ser livremente negociado no mercado, podendo ser vendido para os países do anexo I que precisam atingir sua meta. Pelo mecanismo bilateral, o país do anexo I implementa o programa no país em desenvolvimento, viabilizando o desenvolvimento sustentável, trazendo benefício para ambos, fazendo com que o crédito gerado no país que não está no anexo I seja abatido no débito do país anexo I. Em contrapartida, o mecanismo multilateral lança mão de um fundo internacional de desenvolvimento, envolvendo tanto os países pertencentes quanto os não pertencentes ao Anexo I.

É possível abordar mecanismo de desenvolvimento limpo porque os países em

desenvolvimento não possuem, ainda, a obrigação de redução dos gases poluentes, obrigação esta que cabe, tão somente, aos países desenvolvidos do anexo I. Esse mecanismo tem base no princípio da cooperação entre os países signatários, elencados no próprio Protocolo de Kyoto, no qual todos os países comprometem-se a criarem políticas integralizadas para viabilização dos objetivos do Protocolo.

O MDL possui três requisitos segundo Lorenzoni Neto (2009):

1- Promoção do desenvolvimento sustentável no país hospedeiro;

2- Apresentação e cumprimento de métodos de mensuração dos benefícios trazidos pelo projeto, inclusive em longo prazo;

3- Adicionalidade, que se subdivide em ambiental, tecnológica e financeira. O projeto de MDL deve acrescentar um *plus* ambiental, ou seja, com ele deve haver uma redução de poluentes equivalentes à meta do país desenvolvido, sendo que este último deve programar mecanismo tecnológico no país hospedeiro a fim de viabilizar o próprio projeto, acrescentando, por oportuno, uma vantagem financeira, econômica.

1.4 Redução Certificada de Emissão (RCE)

O MDL retrata a redução de emissões que é mostrada através da diferença entre uma hipótese (a linha de base de emissões de CO₂– Figura 2) e um fato (as emissões verificadas no projeto).

Entende-se por linha de base, o cenário que representa, de forma razoável, as emissões antrópicas de GEEs por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de redução de emissão. Convém esclarecer que o Protocolo de Kyoto exige que as reduções sejam adicionais às que ocorreriam na ausência do projeto, ou seja, se as reduções já estivessem ocorrendo, seria necessário que o projeto produzisse reduções ainda maiores (CGEE, 2008).

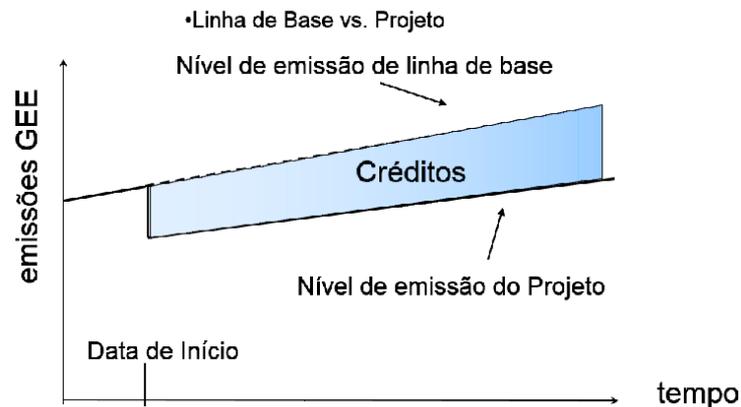
Com a implantação do projeto, as Reduções Certificadas de Emissões (RCE) são convertidas em Créditos de Carbono, que são títulos passíveis de comercialização no mercado internacional na forma de *commodities*, nas quais cada crédito corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono não emitida à atmosfera. A quantidade de créditos/por tonelada de GEEs é estipulada segundo o seu potencial

de aquecimento global, tendo como referência o dióxido de carbono, como a seguir (IPCC, 2007):

- Dióxido de Carbono (CO₂) = 1;
- Metano (CH₄) = 21;
- Óxido Nitroso (N₂O) = 310;
- Hidrofluorcarbonetos (HFC) = 140 ~ 11700;
- Perfluorcarbonetos (PFC) = 6500 ~ 9200;
- Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) = 23900.

Além do critério ambiental, prevê-se a utilização do critério econômico para fazer a hierarquização dos projetos candidatos ao MDL. Quanto maior a contribuição dos créditos de carbono na viabilidade financeira, maior a prioridade do projeto para aprovação pelo Comitê Executivo da Convenção-Quadro das Mudanças Climáticas (NISHI et al., 2005).

Figura 2 – Linha de base de emissões de CO₂



Fonte: CGEE (2008)

3 Metodologia

3.1 Metodologia de linha de base para estimativa de RCE

Foi usada a metodologia AMS I.L - Eletrificação das comunidades rurais utilizando energia renovável (ONU, 2013), que substitui o uso de combustíveis fósseis. Essa metodologia limita o sistema de geração de energia a uma capacidade instalada não superior a 15 MW, limitando-se às instalações e consumidores de energia que não têm acesso a qualquer sistema de distribuição de energia elétrica (rede nacional ou regional). Tais instalações de uso final podem incluir domicílios, edifícios públicos e/ou micro, pequenas e médias empresas. O uso da eletricidade pode incluir iluminação interior, iluminação, refrigeração e sistemas de bombeamento agrícolas e para distribuição de água potável. A metodologia estipula que pelo menos 75% do consumo de energia elétrica deve ser doméstico.

Nesse caso, para a determinação da linha de base, dois parâmetros são necessários:

- A quantidade de energia elétrica consumida pelas instalações servidas pelo

sistema de geração de eletricidade a partir de fonte renovável; e o número de instalações (por exemplo, as famílias, as empresas, os edifícios públicos) atendidas com eletricidade a partir do sistema proposto.

A seguir são apresentados os fatores de emissão da linha de base, estabelecidos pela presente metodologia, para cada intervalo de energia consumida anualmente, pelas instalações, durante o período de crédito.

- Para os primeiros 55 kWh de eletricidade consumida em cada unidade o fator de emissão da linha de base é 6,8 medidos em tCO₂/MWh, ou seja, admite-se esse fator para cada MWh de energia produzida;

- Para a instalação que consomem mais de 55 e até 250 kWh por ano, o fator de emissão da linha de base é de 1,3 tCO₂/MWh;

- Para a instalação que consomem mais que 250 kWh por ano, o fator de emissão da linha de base é 1,0 tCO₂/MWh.

Os valores da linha de base apresentados em kWh são devidos à pequena escala dos projetos, sendo que para o cálculo de toneladas de CO₂ a

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.18, n. 1, p.17-29, jan./jun. 2016

unidade é expressa em MWh, conforme ONU, (2013).

As emissões de linha de base, para toda atividade de projeto, são calculadas pela Equação 1.

$$BE_y = BE_{55,y} + BE_{250,y} + BE_{\text{mais que } 250,y} \quad (1)$$

Em que BE_y são as emissões de linha de base no ano y , em tCO_2/y ; $BE_{55,y}$ são as emissões de referência para instalações que consomem menos que 55 kWh de energia, a partir de projetos de sistemas de eletricidade por fonte renovável no ano y , em tCO_2/y ; $BE_{250,y}$ são as emissões de referência para instalações que consomem mais de 55 e até 250 kWh de energia, a partir de projetos de sistemas de eletricidade por fonte renovável no ano y , em tCO_2/y ; e $BE_{\text{mais que } 250,y}$ são as emissões de referência para instalações que consomem mais de 250 kWh de energia, a partir de projetos de sistemas de eletricidade por fonte renovável no ano y , em tCO_2/y .

$$BE_{250,y} = \sum_z^M \left((EG_{z,y} - 0,055) EF_{CO_2,250} + C \right) \quad (3)$$

Em que $EG_{z,y}$ é a eletricidade entregue pelo projeto de sistema de geração de eletricidade renovável para instalação x , em que a energia entregue ao mecanismo é maior que 55 e não ultrapassa 250 kWh no ano y , em MWh; $EF_{CO_2,250}$ é igual a 1,3 tCO_2/MWh ; z representa as instalações abastecidas com eletricidade renovável a partir da operação do projeto de sistema de geração de energia elétrica com o consumo

Para instalações que consomem até 55 kWh por ano, a linha de base é calculada pela Equação 2.

$$BE_{55,y} = \sum_x^N EG_{x,y} EF_{CO_2,55} \quad (2)$$

Em que $EG_{x,y}$ é a eletricidade entregue pelo projeto de sistema de geração de eletricidade renovável para instalação x , em que a energia entregue ao mecanismo é menor que 55 kWh no ano y , expressa em MWh; $EF_{CO_2,55}$ é igual a 6,8 tCO_2/MWh ; x representa as instalações abastecidas com eletricidade renovável a partir da operação do projeto de sistema de geração de energia elétrica com o consumo menor que 55 kWh no ano y ; e N é o número de instalações da atividade de projeto com consumo menor que 55 kWh/ano.

Para instalações que consomem entre 55 e 250 kWh por ano, a linha de base é calculada pela Equação 3.

maior que 55 e menor que 250 kWh no ano y ; C é uma constante igual a 0,374 tCO_2 , sendo esta calculada como 0.055 MWh x 6,8 tCO_2/MWh ; e M é igual ao número de instalações da atividade de projeto com consumo maior que 55 e menor que 250 kWh/y.

Para instalações que consomem mais que 250 kWh por ano, a linha de base é calculada pela Equação 4.

$$BE_{\text{mais que } 250,y} = \sum_w^P \left((EG_{w,y} - 0,250) EF_{CO_2,\text{mais que } 250} + D \right) \quad (4)$$

Em que $EG_{w,y}$ é a eletricidade entregue pelo projeto de sistema de geração de eletricidade renovável para instalação x , em que a energia entregue ao mecanismo é maior que 250 kWh ao ano y , em MWh; $EF_{CO_2,\text{mais que } 250}$ é igual a 1,0 tCO_2/MWh ; w representa as instalações abastecidas com eletricidade renovável a partir da operação do projeto de sistema de geração de energia elétrica com o consumo maior que 250 kWh ao ano y ; D é igual a 0,6275 tCO_2 , sendo uma constante calculada como 0.055 MWh x 6,8 tCO_2/MWh + 0.195 MWh x 1.3 tCO_2/MWh ; e P é igual ao número de instalações da atividade de projeto com consumo maior que 250 kWh/y.

As reduções de emissões em base anual (ER_y) são calculadas através da Equação 5.

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (5)$$

Em que ER_y são as reduções de emissões no ano y , em tCO_2/y ; BE_y são as emissões de linha de base no ano y , em tCO_2/y ; PE_y são as emissões de projeto no ano y , em tCO_2/y ; e LE_y são as emissões de vazamento no ano y , em tCO_2/y . No presente trabalho, as emissões do projeto são consideradas zero ($PE_y = 0$). Em relação aos vazamentos (LE_y), se os equipamentos geradores de energia forem transferidos de outra ou para outra atividade, eles deverão ser considerados, caso contrário $LE_y = 0$.

3.2 Estimativa da demanda de potência instalada da comunidade

O conhecimento dessa demanda faz-se necessário para o enquadramento do projeto na metodologia de linha de base, a qual como mencionada anteriormente, não pode ultrapassar 15 MW. Os resultados dessa demanda foram obtidos a partir do trabalho de Quintas, Blanco e Mesquita (2012), no qual se estimou a demanda energética a partir do método da Inovação Tecnológica e Gestão Documental (ITGD) (OLADE, 2009), que inclui uma análise mais detalhada em termos de demanda de energia. Esse método foi escolhido, pois em pequenos sistemas isolados rurais, a estimativa da demanda de energia, é realizada com base na capacidade instalada, ou seja, a demanda máxima de energia, considerando que todos consumidores de energia funcionassem simultaneamente. Esse método é utilizado, devido aos sistemas não atenderem a demanda durante 24 horas, elevando a demanda ao máximo, sempre que o sistema é colocado em operação.

Nem todas as demandas ocorrem simultaneamente, e é claro, que de acordo com o grau de pobreza ou de desenvolvimento, o consumo industrial está ausente durante a noite, assim como os serviços públicos. Isto leva a considerar demandas diurna e noturna diferenciadas (QUINTAS; BLANCO; MESQUITA, 2012). Também estão incluídos dois fatores: a simultaneidade e o grau de utilização de aparelhos elétricos, descritos a seguir:

- Fator de simultaneidade (f_s): possibilidade de um número de usuários utilizarem equipamentos elétricos simultaneamente, variando entre 0 e 1;

- Fator de uso (f_u): caracteriza o uso intensivo do equipamento, variando entre 0 e 1.

No caso das cargas diurnas e noturnas, os valores de demanda são obtidos pela multiplicação de cada tipo de demanda pelos fatores f_s e f_u . A maior dessas duas demandas é adicionada às perdas por transmissão (5 a 10%), resultando na demanda total do sistema.

3.3 Área de estudo - Ilha de Marimarituba

A pesquisa usou dados de três comunidades que ficam inseridas na ilha de

Marimarituba (Figura 3). As comunidades são as seguintes: centro do Marimarituba, costa do Marimarituba e Marajó. A Ilha fica localizada no rio Amazonas, situada entre as cidades de Santarém e Óbidos no estado do Pará. Trata-se de uma área de várzea, suas terras no inverno, ou seja, no período de chuvas ficam submersas por no mínimo 3 meses. O período da enchente vai normalmente de dezembro a julho, sendo que a partir de dezembro as águas começam a crescer naturalmente devido ao período chuvoso nas cabeceiras dos afluentes do rio Amazonas ou chuvas no próprio leito dos rios ou em suas nascentes, fazendo com que nos meses de maio a julho as terras de várzeas fiquem totalmente inundadas. Nesse período, os moradores da ilha vivem da pesca artesanal, quando o pescado é vendido nas comunidades vizinhas ou em Santarém. De agosto a novembro é o período de verão, com chuvas escassas. O rio perde o volume de água e as terras nas várzeas ficam emersas. Nesse período a economia do povo da ilha está associada à pesca, pecuária, criação de aves e agricultura (plantio de mandioca, feijão, melancia, jerimum, tomate e cebolinha).

A ilha apresenta 41 residências domiciliares (27 residências no centro de Marimarituba, 9 residências na costa de Marimarituba e 5 residências no Marajó), uma escola, duas igrejas, centro comunitário e um clube social.

- Centro do Marimarituba, com 27 residências, 225 pessoas;

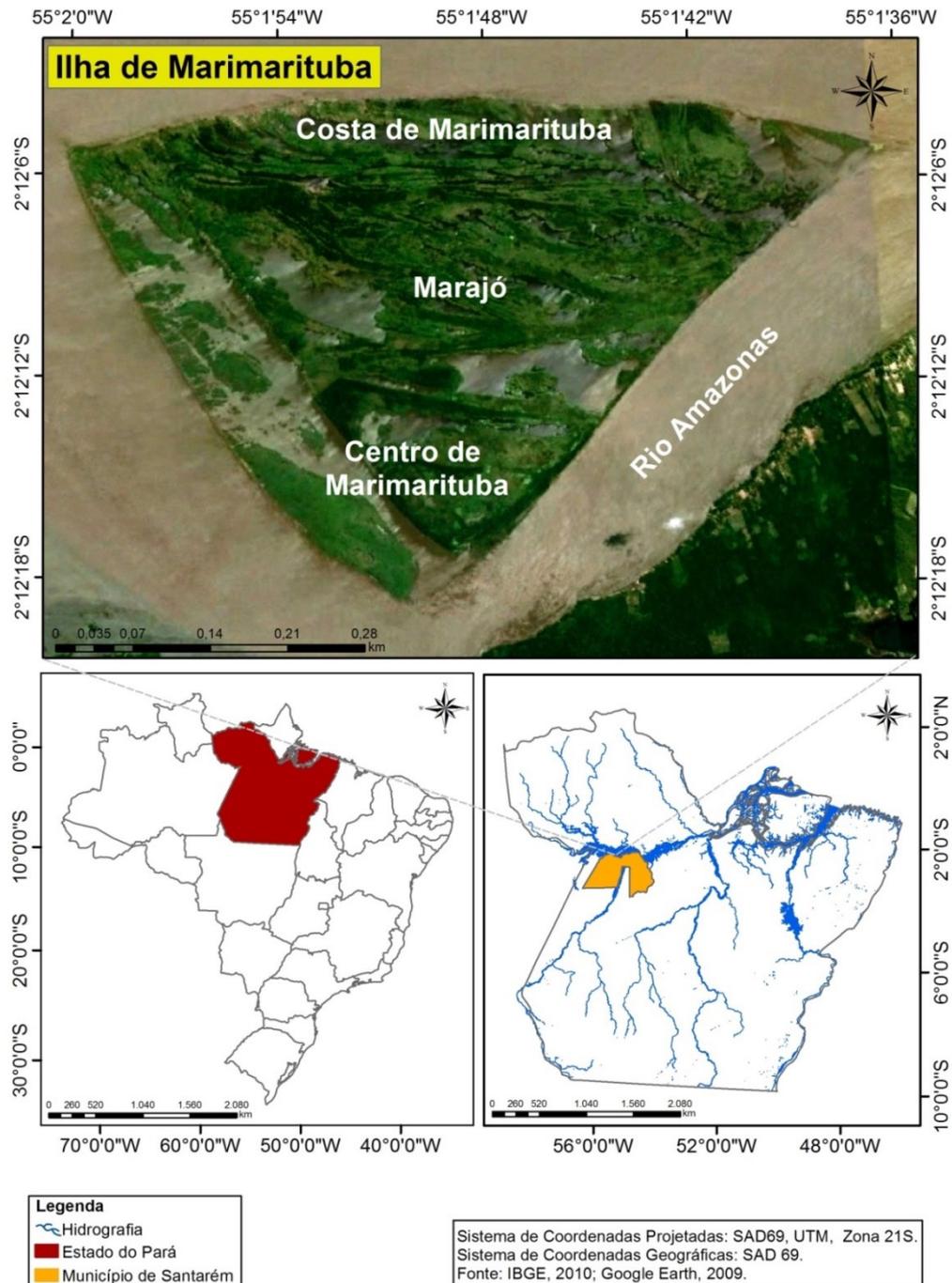
- Costa do Marimarituba, com 9 residências, 72 pessoas;

- Marajó, com 5 residências, 40 pessoas.

Total de moradores sendo igual a 337 pessoas.

Há uma única escola na comunidade, Escola Municipal São Raimundo, que fica no centro de Marimarituba. Na escola trabalham duas professoras, além de pessoal de apoio, atendendo crianças do ensino infantil até o 5º ano. O calendário escolar acompanha o período da seca do rio Amazonas. Os educandos entram em férias uma vez ao ano. Se as terras ficarem submersas de maio a julho esse será o período de férias dos alunos. A escola possui um gerador à diesel que não é utilizado normalmente, pois a escola não funciona no horário noturno. Na escola existe um orelhão alimentado por placa solar fotovoltaica.

Figura 3 – Localização da Ilha de Marimarituba



Fonte: Autores (2016).

3.4 Dados sobre ocupação dos habitantes da Ilha Marimarituba e acesso a energia e água

Os dados descritos a seguir, são fruto da pesquisa de campo de Santos (2016), que entrevistou os moradores da ilha de Marimarituba durante o ano de 2015.

Pesca - Os pescadores armazenam o pescado em urnas ou isopor com gelo, o gelo é comprado em Santarém. Os peixes são vendidos para geleiras (barcos próprios para armazenar o peixe), ou então são vendidos em Santarém. Alguns pescados são salmourados ou salgados como forma de armazenamento. Cada família de pescadores tem uma ou duas rabetas

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.18, n. 1, p.17-29, jan./jun. 2016

(canoas com motor de 6 ou 5 hp), que são utilizadas para a pescaria ou transporte de pessoas.

Pecuária - Quatro (4) famílias criam gado branco, totalizando 315 rezes sem contar com os bezerros novos.

Avicultura - Em todas as residências foi possível observar criação de galinhas em grandes quantidades, elas normalmente são vendidas no período das cheias do rio Amazonas. Muitas delas servem de alimentos no período de escassez do pescado ou do defeso.

Culturas anuais – Em média 40 famílias cultivam melancia, feijão branco, milho e jerimum para a subsistência. O excesso da produção é vendido ou trocado.

Abastecimento energético - Das 41 residências visitadas, todas apresentam geradores a gasolina de 2,5 KVA que são ligados a partir das 19h até o final da novela das 21h. Relatos também das comunidades, revelam que nesse período a poluição sonora é relevante, pois existem nas comunidades casas bem próximas umas das outras. Das 33 residências, 9 apresentam

bombas de 1,5 hp, acopladas ao gerador para o abastecimento de água. A água é armazenada em caixas d'água de 500 L, normalmente a bomba é ligada uma vez ao dia. Para o consumo, a água é filtrada, pois ela é retirada do rio Amazonas.

4 Resultados e discussão

4.1 Potência instalada da comunidade de Marimarituba

Na Tabela 1 são apresentados os dados de demanda de potência e a potência instalada da pequena comunidade de Marimarituba. No caso da demanda de potência das residências, foi adotado o valor médio igual a 0,325 kW. Para a perda por transmissão, também foi adotado o valor médio, entretanto, igual a 7,5%. Outra informação extraída da Tabela 1, é a potência instalada da comunidade igual a 16,325 kW. Ressalta-se que a esse valor, ainda não foi aplicado o método do ITGD discutido anteriormente.

Tabela 1- Demanda de potência e potência instalada da comunidade de Marimarituba

Descrição	Quantidade	Demanda (kW)	Potência instalada (kW)
Residências	41	0,25 - 0,40	13,325
Escola	1	1,00	1,0
Igrejas	2	0,50	1,0
Clube social	1	0,50	0,5
Centro comunitário	1	0,50	0,5
Total			16,325

Fonte: Autores (2016)

Na Tabela 2, é a apresentado o valor da potência instalada, segundo o método do

ITGD e os valores dos fatores de f_s e f_u determinados para carga noturna e diurna.

Tabela 2 - Demanda de energia total da comunidade de Marimarituba

Demanda	Potência instalada (kW)	Carga diurna			Carga noturna		
		f_s	f_u	(kW)	f_s	f_u	(kW)
Residências	13,325	0	0	0	0,8	0,7	7,5
Escola	1,0	1	1	1	0	0	0
Igrejas	1,0	0	0	0	1	1	1
Instituições	1,0	0	0	0	1	1	1
Total				1	Total		9,5
Perdas por transmissão							7,5%
Demanda total da comunidade de Marimarituba							10,213

Fonte: Autores (2016)

Analisando a Tabela 2, pode-se observar que para os fatores f_s e f_u são semelhantes ao trabalho de Quintas, Blanco

e Mesquita (2012), que aplicaram a mesma metodologia na comunidade de Água Branca do Cajari no município de Laranjal do Jarí,

no estado do Amapá. Observa-se também que a carga noturna é bem superior a carga diurna e por isso foi utilizada para o cálculo da demanda total da comunidade de Marimarituba. Pelas Tabelas 1 e 2, o limite máximo de potência instalada da metodologia de linha de base está bem longe de ser atingido pelos usos energéticos da comunidade de Marimarituba, garantindo a aplicação da metodologia AMS I.L - Eletrificação das comunidades rurais utilizando energia renovável (ONU, 2013), a qual foi apresentada anteriormente.

4.2 Estimativa da energia anual consumida pela comunidade

É possível observar nos resultados apresentados na Tabela 3, que a maior demanda por energia elétrica vem das residências, com consumo anual de 19,454 MWh, compondo 94,26 % da energia total consumida pela comunidade. A quantidade de horas de consumo de energia diária adotada (Tabela 3) foi tomada de modo a obter resultados próximos à realidade da comunidade.

Tabela 3- Estimativa de consumo anual de energia elétrica da comunidade de Marimarituba

Demanda	Quantidade	Demanda de potência unitária (kW)	Horas de consumo diário (adotado)	Consumo anual unitário (MWh)	Consumo anual total (MWh)	%
Residências	41	0,325	4,0	0,474	19,454	94,26
Escola	1	1,000	2,0	0,730	0,730	3,54
Igrejas	2	0,500	0,5	0,091	0,182	0,88
Clube social	1	0,500	0,5	0,091	0,091	0,44
Centro comunitário	1	0,500	1,0	0,182	0,182	0,88
Consumo Total					20,639	100

Fonte: Autores (2016)

4.3 Estimativa de crédito de carbono

Utilizou-se para estimativa de crédito de carbono, a metodologia AMS I.L (Eletrificação das comunidades rurais utilizando energia renovável). A metodologia foi utilizada, pois a demanda de energia da comunidade enquadra-se no limite de potência de 15 MW, possuindo características, que reforçam o uso da metodologia, sendo que:

- Na Tabela 3, observa-se que 94,26% do consumo anual de energia elétrica são realizados pelas residências (a metodologia destaca que pelo menos 75% da utilização final das instalações conectadas ao sistema de geração de eletricidade renovável do projeto deve ser residencial);

- O estado do Pará está conectado ao Sistema Interligado Nacional (SIN), porém a ilha estudada encontra-se fora do SIN (este é outro critério da metodologia);

- A demanda de energia elétrica da comunidade é inferior ao limite estipulado pela metodologia, pois mesmo que a capacidade instalada de um sistema de

geração de energia de fonte renovável tenha uma margem de segurança para o atendimento da comunidade, o mesmo não alcançaria os 15 MW estipulados como limite máximo.

Observou-se também, que na Tabela 3, a demanda do centro comunitário, clube social e igrejas, tem seu consumo na faixa de 55 até 250 kWh por ano, desta forma, utilizou-se a equação 3 para calcular a linha de base. Já as residências e a escola consumiram mais que 250 kWh por ano, portanto a linha de base é calculada pela equação 4. No trabalho de Matos et al. (2015), apenas a equação 4 foi utilizada, pois trata-se de uma comunidade um pouco maior, inclusive com uso industrial de energia, e não só doméstica como é o caso da comunidade de Marimarituba. Isso demonstra que a metodologia pode ser aplicada às diversas comunidades isoladas da Amazônia, possuindo diferentes tipos de uso de energia.

Deve ser lembrado que a linha de base, é a emissão que ocorreria na ausência do projeto de MDL. Portanto, o valor de 37,81 tCO₂ por ano corresponde a emissão

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.18, n. 1, p.17-29, jan./jun. 2016

de CO₂ equivalente a operação de um sistema de geração de energia movido a combustíveis fósseis, por exemplo, óleo diesel, os quais são mais comuns para comunidades isoladas da Amazônia.

As emissões de projeto são consideradas zero (PEy= 0), pois no presente trabalho, considera-se que o sistema de geração de energia elétrica utilizará como fonte de energia, a solar fotovoltaica, biomassa ou hidrocínética. Assim, utilizando-se a equação 5, tem-se E_{Ry} = BE_y (Tabela 4), e se considerando um projeto de MDL com duração de 10 anos, a

estimativa de crédito de carbono é de 378,1 tCO₂.

De acordo com o Califórnia Carbon.info (2016), o piso das permissões de emissões da Califórnia era de US\$ 13,13/tCO₂ (em fevereiro de 2016). Desta forma, obter-se-ia um valor de US\$ 4.964,45 (correspondente a R\$ 20.056,38) pelas toneladas de CO₂ obtidas pelo projeto. Mesmo descontando os custos com o processo de aprovação do projeto de MDL, obter-se-ia um valor considerável para as despesas com operação e manutenção do sistema.

Tabela 4 - Estimativa de linha de base

Tipo de demanda	Quantidade	Consumo anual unitário (MWh)	BE _y (tCO ₂ /ano)
Residências	41	0,474	34,9
Escola	1	0,730	1,11
Igrejas	2	0,091	0,84
Clube social	1	0,091	0,42
Centro Comunitário	1	0,182	0,54
Estimativa total			37,81

Fonte: Autores (2016)

4.4 Fonte de energia escolhida

Por se tratar de uma ilha, cercada pelas correntezas do rio Amazonas, as comunidades podem ser abastecidas através de uma central hidrocínética, tecnologia que vem amadurecendo no Brasil e no exterior (HOLANDA et al., 2016). Nesse caso, os custos de implantação e manutenção são da ordem de R\$ 1,91 por kWh (BRASIL JUNIOR et al., 2007). Atualizando esse valor através da conversão com valor médio do dólar em 2007, igual a R\$ 1,95, o qual foi calculado com dados de ACSP (2016), tem-se que os custos são iguais a US\$ 0,98 por kWh. Sendo o consumo anual total da ilha de Marimarituba igual a 20.639 kWh, tem-se um custo para o sistema igual a US\$ 20.226,22, os quais poderiam ser pagos em aproximadamente 4 anos com os dividendos gerados com a venda dos créditos de carbono. Entretanto, a comunidade precisaria de um investimento inicial público e/ou privado para instalação do sistema de geração de energia, até que se possam pagar os custos com a venda dos créditos de carbono.

5 Conclusões

O presente trabalho estimou créditos de carbono através de projeto de um sistema

de geração de energia com fonte renovável na ilha de Marimarituba, município de Santarém, Pará, Brasil. A ilha supracitada necessita de uma proposta de investimento em sistemas de geração de energia elétrica, movidos à energia renovável, levando desenvolvimento ambientalmente sustentável à região, dando autonomia à comunidade para desenvolver projetos de MDL, pois o sistema reduz a emissão de GEEs e gera renda através da comercialização de créditos de carbono. O que se orienta é que o sistema de geração de energia seja através de uma central hidrocínética devido à correnteza do rio Amazonas, já que a ilha não dispõe de estoques de biomassa conhecidos e a radiação solar é menos intensa na região durante os meses de chuva entre dezembro e julho. Com a definição dos custos do sistema hidrocínético, tem-se um *payback* de aproximadamente 4 anos, considerando-se a venda dos créditos de carbono. Entretanto, a comunidade precisaria de um investimento inicial público e/ou privado. Assim, a análise feita para a ilha de Marimarituba serve como mais um exemplo para inspirar novos projetos para a estimativa e possível venda de créditos de carbono baseados em sistemas de geração de energia com fontes renováveis a serem instalados na região amazônica.

6 Estimating Carbon Credits with Renewable Energy Generation in Marimarituba Island-Santarém-PA

Abstract: Carbon credit estimate with renewable energy generation in Marimarituba Island, Santarém-PA is analyzed. Models for greenhouse gas (GHG) emission reductions for power generation from renewable sources were developed and these models present the methodologies for the Clean Development Mechanism (CDM) of small scale. The annual energy demand community has been determined, the type of demand being verified, resulting in a demand of 10.2 kW and an annual consumption of 20.6 MWh. Thus, a model of the AMS I.L methodology was used, estimating an emission reduction of 37.81 tCO₂ / year, totaling 378.10 tCO₂ for a CDM project with a useful life of 10 years, obtaining US\$ 4,964.45 (R\$ 20,056.38) for the tons of CO₂, which are no longer emitted. The supply of the island was defined as being through a hydrokinetic generation system, which has a payback of four years, considering the dividends from the sale of carbon credits. Certainly for the system installation community needs public and / or private investments. The proposed investment in renewable energy generation systems is of fundamental importance for the sustainable development of the Amazon, as it allows greater autonomy to the isolated systems with the development of their CDM projects, raising funds for operating expenses and maintenance of such systems, while reducing emissions of greenhouse gases into the atmosphere.

Keywords: Greenhouse gases. Clean development mechanisms. Isolated systems. Amazon.

7 Referências

ACSP – Associação Comercial de São Paulo. Índices Econômicos: Média Mensal da Cotação do Dólar Comercial para Venda Em Real (R\$). Disponível em: <http://portal.acsp.com.br/assets/html/indicadores/indicadores_iegv/iegv_dolar.html>. Acesso em: 13 out. 2016.

BLANCO, C. J. C.; SECRETAN, Y.; MESQUITA, A. L. A. **Decision support system for micro-hydro Power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective.** Energy Sustainable Development, v. XII, p. 25-33, 2008.

BRASIL. **Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS" e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4873.htm>. Acesso em: 11 mai. 2013.

BRASIL JUNIOR, A. C. P.; VAN ELS, R.; SALOMON, L. R. B.; OLIVEIRA, T.; RODRIGUES, A. P.; FERREIRA, W. O. Turbina hidrocínética geração 3. In: CITENEL - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 4., 2007, Araxá. Anais... 2007.

Califórnia Carbon.Info. **Piso das permissões de emissões da Califórnia.** Disponível em: <<http://californiacarbon.info>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Manual de Capacitação sobre Mudança do Clima e Projetos de**

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Brasília-DF, 2008.

FRONDIZI, I. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: guia de orientação 2009.** Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, FIDES, 2009.

GOLDEMBERG, J; VILLANUEZ, L. D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo - Edusp. 2ª Edição, 2003.

HOLANDA, P. S., BLANCO, C. J. C., AMARANTE MESQUITA, A. L., BRASIL JUNIOR, A. C. P., DE FIGUEIREDO, N. M., MACÊDO, E. N., SECRETAN, Y. Assessment of hydrokinetic energy resources downstream of hydropower plants. Renewable Energy, in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.011>.

IBGE. **Censo Brasil 2000.** Rio de Janeiro, RJ. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2000.

IPCC. Climate Change 2007: **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp, 2007.

IPCC. Climate Change 2013. **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor,

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.18, n. 1, p.17-29, jan./jun. 2016

S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.

LIMIRO, D. **Créditos de Carbono: Protocolo de Kyoto e projetos de MDL**. Curitiba: Juruá, 2009.

LORENZONI NETO, A. **Contrato de Créditos de Carbono - Análise Crítica das Mudanças Climáticas**. Curitiba: Juruá, 2009.

MATOS, T. R.; BLANCO, C. J. C.; GOMIDE, I. S.; PESSOA, F. C. L. **Estimating carbon credits from renewable energy generation in isolated communities of the Amazon**. Journal of Basic and Applied Research International, v. (11), n°. 3, p. 155-163, 2015.

NASA. NASA On Air: NASA's Carbon Dioxide Plumes - World Map (11/21/2014). Disponível em: <<https://svs.gsfc.nasa.gov/10273>>. Acesso em: 6 out. 2016.

NISHI, M. H.; JACOVINE, L. A. G.; da SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R.; NOGUEIRA, H. P.; ALVARENGA, A. P. **Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais**. Revista Árvore, v. (29), n°. 2, p. 263-270, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000200009>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

OLADE - ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA. **Diseno, implementación y gestión de microcentrales hidroelectras**, 2009.

ONU. **CDM Methodology Booklet**, 2013. Disponível em:

<<https://cdm.unfccc.int/methodologies>>. Acesso em: 9 ago. 2014.

QUINTAS, M. C.; BLANCO, C. J. C.; MESQUITA, A. L. A. **Analysis of two schemes using Micro Hydroelectric Power (MHPs) in the Amazon with Environmental Sustainability and Energy and Economic Feasibility**. Environment, Development and Sustainability, v. 14, p. 283-295, 2012.

QUIOTO. **Protocolo de Quioto, 1997**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/protocolo-de-quioto>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

SANTOS, V. S. **Estimativa de crédito de carbono para projetos de geração de energia com fontes renováveis na ilha de Marimarituba-Santarém-PA**. Belém-PA, 56 p. Dissertação (Processos Construtivos e Saneamento Urbano). Universidade Federal do Pará, 2016.

SEIFFERT, M. E. B. **Mercado de carbono e protocolo de Quioto: Oportunidades de negócio na busca da sustentabilidade**. São Paulo: Ed. Atlas, 2009.

TEIXEIRA, L. G.; LOPES, A.; LA SCALA JR, N. **Temporal variability of soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage described by an exponential decay in time model**. Engenharia Agrícola. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 30, n. 2, p. 224-231, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/1509>>. Acesso em: 10 de fev. 2016.