

Remoção antrópica líquida de carbono atmosférico em plantios de *Pinus taeda* L.

Net anthropic removal of atmospheric carbon in *Pinus taeda* L. plantations

Carlos Roberto SANQUETTA¹; Lucila de Almeida Vasques FERNANDES²; Francelo MOGNON³; Ana Paula DALLA CORTE⁴

¹ Autor para correspondência. Dr. Engenheiro Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Av. Prof. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP 80.210-170, Curitiba – PR, Brasil; carlos_sanquetta@hotmail.com

² M.Sc., Engenheira Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: lucilavf@yahoo.com.br

³ M.Sc., Biólogo, doutorando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR); ocelo75@yahoo.com.br

⁴ Dr. Engenheira Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná (UFPR); anapaulacorte@gmail.com

Resumo

O objetivo deste estudo foi simular a remoção líquida de carbono atmosférico de um projeto florestal de MDL hipotético, que consistiu em um plantio de 7.000 ha de *Pinus taeda* L. no sul do Paraná. O projeto florestal de MDL foi simulado segundo os critérios previstos na versão 3 da Metodologia Aprovada de Florestamento/Reflorestamento AR-AM0005 da UNFCCC. Para tanto, foram criados dois cenários: cenário de reflorestamento (plantio de *Pinus taeda* com densidade inicial de 2.500 indivíduos por hectare, desbastes aos 8; 11; 15 e 20 anos de idade, e corte raso aos 30 anos) e cenário de linha de base (pastagem sem a presença de árvores isoladas). Todos os cálculos e estimativas necessários para a simulação do projeto florestal de MDL foram realizados por meio da ferramenta TARAM v.1.3. A simulação do projeto florestal de MDL resultou na estimativa da remoção antrópica líquida de carbono de 591.475 toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e), o que corresponde a 19.716 tCO₂e ano⁻¹ e a 2,82 tCO₂e ano⁻¹ ha⁻¹. Essa estimativa foi obtida a partir dos resultados da remoção líquida de carbono da linha de base (1.810.213 tCO₂e), da remoção real líquida de carbono (2.407.820 tCO₂e) e das fugas do projeto (6.133 tCO₂e). Concluiu-se que o projeto florestal de MDL simulado no presente estudo é adicional no que se refere à remoção antrópica líquida de carbono atmosférico, ressaltando que mudanças nas premissas relacionadas à linha de base, ao reflorestamento, às fugas do projeto, entre outras, podem causar alterações nas estimativas de remoção antrópica líquida e, conseqüentemente, mudar a adicionalidade do projeto.

Palavras-chave adicionais: Carbono; pínus; projeto florestal de MDL.

Abstract

The objective of this study was to evaluate by means of a simulated CDM project the net removal of atmospheric carbon by *Pinus taeda* plants occupying an area of 7,000 hectares located in the southern region of the state of Paraná, Brazil. The CDM forest project was simulated according to the criteria in version 3 of the Approved Afforestation/Reforestation Methodology AR-AM0005 of the UNFCCC. To this end, two scenarios were created: first, a reforestation scenario characterized by planting *Pinus taeda* with initial density of 2,500 individuals per hectare, followed by plant thinning at 8, 11, 15, and 20 and clear-cutting at 30 years of age and second, a baseline scenario, that is, a pasture area with no isolated trees. All the calculations and estimates required for simulation of the CDM forest project were carried out by the tool TARAM v.1.3. The simulation of the CDM forest project resulted in the estimation of 591,475 tons of CO₂ equivalent (tCO₂e) removed by the pinus plants this value corresponding to 19,716 tCO₂e year⁻¹ and to 2.82 tCO₂e year⁻¹ ha⁻¹. This estimate was gained from the results of the baseline net carbon removal (1,810,213 tCO₂e), the actual net carbon removal (2,407,820 tCO₂e) and leakage of the project (6,133 tCO₂e). It was concluded that the CDM forest project simulated in the present study is additional with regard to net anthropic carbon removal, highlighting that modifications in the premises related to the baseline, the reforestation, the leakages of the project, among others, can bring about modifications in the estimates of net anthropic carbon removal and, consequently, change the additionality of the project.

Additional keywords: Carbon; CDM forest project; *Pinus taeda*.

Introdução

As questões relacionadas ao aquecimento global vêm sendo amplamente discutidas em todo o mundo. Muitos cientistas, pesquisadores e líderes mundiais preocupam-se com essa problemática e com as consequências que a intensificação do aquecimento global pode trazer ao planeta (CHANG, 2004).

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001) afirmou que a temperatura média global da superfície tem aumentado desde 1861, sendo que, durante o século XX, o aumento foi de $0,6 \pm 0,2$ °C, aquecimento este relacionado ao aumento das emissões antrópicas e a maiores concentrações de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera. Dentre os gases responsáveis pelo efeito estufa, o CO₂ é o responsável por 80% do aquecimento de causa antrópica, conforme afirmado por Molion (1995), citado por CHANG (2004).

Nesse contexto, com o objetivo de discutir as questões do aquecimento global e os impactos sobre a humanidade, em 1992, foi estabelecida a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – CQNUMC (UNFCCC, 1992). A Convenção estabelece esforços intergovernamentais para enfrentar as mudanças climáticas e reconhece que o sistema climático é um recurso compartilhado, cuja estabilidade pode ser afetada por emissões de CO₂ e outros GEEs (UNFCCC, 2010a).

Após essa Convenção, os países signatários da mesma vêm reunindo-se anualmente em encontros denominados Conferência das Partes (COP). A terceira sessão (COP 3) realizada em Quioto – 1997, estabeleceu um acordo denominado Protocolo de Quioto - PQ (ROCHA, 2002). Esse documento estabelece que os países desenvolvidos devam reduzir suas emissões em, pelo menos, 5% abaixo dos níveis de 1990, entre 2008-2012, ou seja, primeiro período de compromisso (UNFCCC, 1998).

Dentre os mecanismos de flexibilização do PQ, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é o único que prevê a participação de países em desenvolvimento e visa a auxiliá-los para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para que os países desenvolvidos cumpram seus compromissos quantificados de limitação e de redução de emissões (MCT, 2009).

No âmbito do MDL, há algumas modalidades onde podem ser desenvolvidas atividades de projeto. Dentre essas modalidades, encontram-se as atividades de florestamento/reflorestamento, únicas previstas para elaboração de projetos relacionados à mudança no uso da terra e de florestas durante o primeiro período de compromisso (MCT, 2009). Entretanto, pelo fato

de que a madeira entrará um dia em decomposição, os créditos de carbono gerados com esses projetos são encarados como temporários, tornando a fixação florestal de carbono uma medida paliativa. Atualmente, os créditos resultantes desses projetos são limitados e possuem validade máxima de 60 anos. Após esse período, os compradores dos créditos florestais que desejarem manter a redução de emissões, precisam substituí-los por novos créditos.

Assim, por meio da implantação de um projeto florestal de MDL, atividades de florestamento/reflorestamento podem ser financiadas para a geração de estoques de carbono e remoção de GEE da atmosfera, servindo como sumidouros adicionais que não ocorreriam em sua ausência.

Nesse sentido, dada a relevância das questões sobre as mudanças climáticas e a importância do papel das florestas como sumidouros de carbono, o objetivo do presente estudo foi estimar a remoção líquida de carbono gerada por um projeto florestal de MDL hipotético. Para tanto, foi simulado um projeto com reflorestamento de *Pinus taeda*, espécie florestal comercial de importante representatividade no mercado florestal do sul do Brasil, utilizada na silvicultura para suprimento de madeira de uso industrial/comercial.

Material e métodos

Para o desenvolvimento do presente estudo, foi criado um cenário de um projeto florestal de MDL. Esse projeto foi simulado, segundo os critérios previstos na versão 3 da Metodologia Aprovada de Florestamento/Reflorestamento AR-AM0005 da UNFCCC (2010b).

Todo projeto florestal de MDL deve seguir os critérios definidos em uma das metodologias de linha de base e de monitoramento aprovadas pelo Conselho Executivo do MDL, chamadas de “*approved afforestation and reforestation baseline methodology*”. Conforme CGEE (2008), as metodologias atualmente aprovadas podem ser utilizadas no Brasil, bastando apenas que as atividades de projeto estejam de acordo com as condições de aplicabilidade de cada metodologia.

Nesse sentido, a metodologia AR-AM0005 foi utilizada como base de cálculo das estimativas de remoção antrópica líquida de carbono por sumidouros.

O cenário do projeto florestal de MDL foi constituído por duas diferentes situações:

(a) Cenário de reflorestamento: refere-se à atividade de reflorestamento que será realizada em resposta à implantação do projeto florestal de MDL. No presente estudo, esse cenário foi definido como plantio de *Pinus taeda* com

densidade inicial de 2.500 indivíduos por hectare, desbastes aos 8; 11; 15 e 20 anos de idade e corte raso aos 30 anos. Considerou-se 2010 o ano de início das atividades de reflorestamento no âmbito do MDL, bem como um ciclo de projeto de MDL de 30 anos sem renovação (2010 – 2039).

(b) Cenário de linha de base: refere-se à situação que ocorreria na área com a ausência da atividade de reflorestamento (cenário de reflorestamento). Conforme MCT (2009), o cenário de linha de base servirá como base de comparação com o cenário de reflorestamento, para a avaliação das remoções de carbono. No presente estudo, esse cenário foi estabelecido hipoteticamente com base na metodologia AR-AM0005. Consiste em 1 (um) estrato com pastagem alta, em estado constante (no qual os ganhos e perdas anuais de carbono se anulam mutuamente) e sem a presença de árvores isoladas. As estimativas do cenário de linha de base foram mantidas e adotadas ao longo de todo o período de crédito do projeto de MDL. Além desse estrato de pastagem, foi considerada também a taxa de reflorestamento pré-projeto, como parte das remoções de carbono da linha de base. Para tanto, foi utilizada a taxa anual de reflorestamento de *Pinus* spp. do Estado do Paraná.

Na elaboração de um projeto florestal de MDL alguns critérios importantes devem ser avaliados. Assim, para o projeto de MDL definido no presente estudo, os seguintes critérios foram considerados:

(a) Aplicabilidade da metodologia de MDL aprovada: considerou-se que o projeto de MDL simulado enquadra-se nas condições de aplicabilidade da metodologia AR-AM0005.

(b) Reservatórios de carbono: os únicos reservatórios de carbono selecionados foram biomassa viva do reflorestamento acima e abaixo do solo, conforme definido na metodologia AR-AM0005.

(c) Limite do projeto de MDL: o projeto foi aplicado em um limite geográfico hipotético, com uma área total de 7.000 ha, localizado na região extremo sul do Paraná. Essa área hipotética foi adotada, uma vez que o objetivo do presente estudo consiste na customização da ferramenta TARAM, por meio da aplicação da metodologia de MDL aprovada AR-AM0005. Essa metodologia, por sua vez, pode ser utilizada apenas na elaboração de projetos florestais de MDL de larga escala, ou seja, projetos que fixem uma quantidade superior a 16.000 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e) por ano. A área hipotética de 7.000 ha foi a área mínima que tornava de larga escala os projetos de MDL estudados, ou seja, áreas inferiores a essa representariam projetos de pequena escala.

(d) Elegibilidade da terra: considerou-se que as áreas do projeto de MDL simulado são elegíveis de acordo com as disposições do ANEXO 18, EB 35, Versão 1, enquadrando-se na categoria de reflorestamento e considerando a cobertura de vegetação local abaixo dos limiares que caracterizariam uma floresta, tanto na data de início do projeto, como em 1989. Conforme MCT (2009), os limiares que caracterizam uma floresta têm um valor mínimo de 30% de cobertura de copas de árvores, um valor mínimo para a área de terra de 1,0 ha, e com árvores tendo o potencial de atingirem uma altura mínima de 5 metros na maturidade.

(e) Estratificação ex ante: refere-se à definição da estratificação da área antes da implementação do projeto florestal de MDL. Os critérios para a estratificação foram determinados conforme a metodologia AR-AM0005. Dessa forma, foi considerado 1 (um) estrato de linha de base para toda a área hipotética de 7.000 ha, bem como 1 (um) estrato de reflorestamento de *Pinus taeda*.

(f) Adicionalidade: seguindo a orientação da metodologia AR-AM0005, considerou-se que o projeto de MDL simulado atende aos critérios de adicionalidade da *Tool for the demonstration and assessment of additionality in A/R CDM project activities* (versão 2 da ferramenta para demonstração e avaliação da adicionalidade em atividades de florestamento e reflorestamento de projeto de MDL, aprovada pelo Conselho Executivo do MDL), pressupondo que a implantação da atividade de reflorestamento deve ocorrer em resposta ao incentivo do MDL.

Nos últimos anos, algumas ferramentas e instrumentos foram criados e disponibilizados para auxiliar na resolução dos cálculos e das estimativas exigidas nas metodologias aprovadas de MDL. As ferramentas utilizadas para elaboração de projetos florestais de MDL podem ser classificadas em dois tipos: componentes de uma metodologia e ferramentas de cálculo (VCS, 2007).

Uma dessas ferramentas de cálculo é a TARAM (Ferramenta para Metodologias Aprovadas de Florestamento e Reflorestamento). Essa ferramenta foi desenvolvida em conjunto pela equipe do Bio Carbon Fund do Banco Mundial e pelo Grupo de Mudança Global do Centro Agronômico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE (Centro Agronômico Tropical de Pesquisa e Educação).

De acordo com o Documento de Concepção do Projeto da Plantar S/A (DCP-PLANTAR, 2009), a TARAM é uma ferramenta autoexplicativa adequada para as metodologias aprovadas para projetos florestais de MDL, onde as alterações líquidas nos estoques de carbono, bem como as emissões de carbono por consumo

de combustível e as fugas são registradas e monitoradas.

Todas as planilhas que compõem a TARAM v.1.3 foram preenchidas, com exceção da planilha Financeira (única planilha da ferramenta cujo preenchimento é opcional).

Para preenchimento das planilhas, inicialmente foi necessário o cálculo de duas variáveis, obtidas a partir da coleta de dados de biomassa vegetal e carbono de *Pinus taeda*:

(a) Fração de carbono da matéria seca de *Pinus taeda*: 0,454 tonelada de carbono por tonelada de matéria seca;

(b) Relação raiz/parte aérea de *Pinus taeda*: 0,180 (adimensional).

Além das variáveis citadas, foram determinadas algumas premissas relativas ao transporte de máquinas, mão de obra, entre outros (Tabela 2)

Tabela 1 – Variáveis utilizadas na simulação do projeto florestal de MDL. *Variables used in the simulation of CDM forest project.*

Variável	Valor	Unidade	Referência
Densidade da madeira de <i>Pinus taeda</i> (D)	0,36108	t m ⁻³	SETTE JUNIOR et al. (2006)
Fator de expansão de biomassa para <i>Pinus taeda</i> (FEB)	1,3	Adimensional	Tabela 3A.1.10 do IPCC (2003)
Média da biomassa não lenhosa viva acima do solo pré-existente (pastagem)	2,7	t ha ⁻¹ *	Tabela 3.4.2. do IPCC (2003)
Média da fração de carbono da biomassa seca da vegetação não lenhosa pré-existente (pastagem)	0,5	t ha ⁻¹ **	Valor Padrão do IPCC
Relação raiz/parte aérea da vegetação não lenhosa pré-existente (pastagem)	1,60	Adimensional	Tabela 3.4.3. do IPCC (2003)
Distância média dos plantios até o estacionamento das máquinas usadas no preparo do terreno	50	km	Valor médio
Distância dos plantios até o viveiro	30	km	Valor médio
Distância dos plantios até o ponto de venda ou processamento da madeira removida por desbaste ou corte raso	65	km	Valor médio
Distância dos plantios até o ponto de recolhimento dos trabalhadores (mão-de-obra)	10	km	Valor médio

Tabela 2 – Premissas relativas ao transporte utilizadas na simulação do projeto florestal de MDL. *Assumptions relating to transport used in simulation of CDM forest project.*

Transporte	Eficiência do combustível	Fator de emissão do combustível	Número
Máquinas (preparo do terreno)	5 km L ⁻¹	Diesel: 2,83	9 máquinas
Mudas	5 km L ⁻¹	Diesel: 2,83	4.600 mudas/veículo
Madeira colhida	5 km L ⁻¹	Diesel: 2,83	40 m ³ /veículo
Mão de obra	5 km L ⁻¹	Diesel: 2,83	25 trabalhadores/veículo
Inspeção de campo anual	10 km L ⁻¹	Gasolina: 2,33	Distância média: 30 km
Monitoramento Periódico	10 km L ⁻¹	Gasolina: 2,33	Distância média: 30 km

Todos os cálculos utilizados para a simulação do projeto de MDL foram realizados por meio da ferramenta TARAM v.1.3 e estão especificados com detalhes na metodologia AR-AM0005.

As seguintes estimativas foram obtidas:

Estimativa *ex ante* da remoção líquida de carbono da linha de base ($\Delta C_{BSL,t}$): é a soma das mudanças nos estoques de carbono dentro do limite do projeto que teriam ocorrido na ausência do projeto florestal de MDL (CGEE, 2008). Esse cálculo foi realizado por meio da fórmula (1):

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{GLB,t} + \Delta C_{ARB,t} \tag{1}$$

Sendo:

$\Delta C_{GLB,t}$ = Resultados da linha de base sob o cenário “manutenção das pastagens em seu estado atual”. Nesse cenário, não foi considerada a presença de árvores isoladas;

$\Delta C_{ARB,t}$ = Resultados da linha de base sob o cenário “florestamento/reflorestamento a uma taxa de pré-projeto”.

Para o cálculo dos resultados desse cenário, foi estimada a soma das mudanças do estoque de carbono na biomassa viva desses possíveis reflorestamentos/florestamentos, utilizando como entrada de dados:

(a) Produção de volume/ha simulada por meio do *software* Sispinus (EMBRAPA, 2002) para todos os anos do projeto de MDL (30 anos).

(b) Taxa de pré-projeto: para obtenção de estimativas mais conservadoras, foi utilizada uma taxa histórica anual regional (Paraná) de reflorestamento de *Pinus* spp. (Tabela 3). De acordo com a metodologia AR-AM0005 aplicada no presente estudo, pode-se utilizar desde uma taxa local até uma taxa nacional. A taxa de pré-projeto foi calculada por meio da fórmula (2):

$$\text{Taxa} = \left(\frac{\text{Área do Paraná (19.931.490 ha)}}{\text{Área média anual com Pinus spp. no Paraná (688.649,6 ha)}} \right) \times \text{Área do projeto (7.000 ha)} \tag{2}$$

Tabela 3 – Área anual de plantios de *Pinus* spp. no Paraná (PR). *Annual area of Pinus spp. plantations in Paraná (PR)*.

Ano base	Área plantada no PR anualmente (ha)	Área do PR (ha)
2004	662.552	
2005	677.772	
2006	686.453	19.931.490
2007	701.578	
2008	714.893	
Média	688.650	19.931.490

FONTE: ABRAF (2009).

Estimativa *ex ante* da remoção real líquida de carbono por sumidouros ($\Delta C_{ATUAL,t}$): é a soma das mudanças nos estoques de carbono, dentro do limite do projeto, menos o aumento das emissões de carbono (em equivalentes de

CO₂) proveniente das fontes resultantes da implantação do projeto florestal de MDL (CGEE, 2008). Essa estimativa foi calculada por meio da fórmula (3):

$$\Delta C_{ATUAL,t} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \Delta C_{ijk,t} - GHG_{E,t} \tag{3}$$

Sendo:

$\Delta C_{IJK,t}$ - Mudanças no estoque de carbono da biomassa viva de árvores. Essa variável é estimada através da diferença entre o crescimento e a perda anual de biomassa. O crescimento de biomassa foi calculado utilizando dados de produção de volume/ha simulada por meio do *software* Sispinus (EMBRAPA, 2002) para todos os anos do projeto de MDL (30 anos); $GHG_{E,t}$ - Aumento na emissão de carbono. Essa variável é resultado da queima de combustíveis fósseis por uso de veículos nas atividades de reflorestamento e da perda de biomassa devido à conversão de pastagem em plantios de *Pinus*

taeda. A emissão de carbono a partir da queima de combustíveis fósseis foi considerada para ocorrer a partir do uso de máquinas no preparo do terreno, no plantio, na colheita dos desbastes e corte raso, excluindo transporte, conforme prevê a metodologia AR-AM0005.

Estimativa *ex ante* das Fugas (LK_i): é o aumento da emissão de carbono a partir da queima de combustíveis fósseis por veículos motorizados, fora dos limites do projeto florestal de MDL e deve ser mensurável e atribuível à atividade de florestamento e reflorestamento (CGEE, 2008; DCP-PLANTAR, 2009).

$$LK_t = LK_{Vehicle, CO_2, t} \tag{4}$$

Sendo:

$LK_{VehicleCO2,t}$ = aumento de emissão de carbono a partir da queima de combustíveis fósseis com transporte de máquinas, mudas, pessoal (mão de obra) e produtos de colheita, bem como com transporte nas atividades de inspeção de campo anual e monitoramento periódico.

Estimativa *ex ante* da remoção antrópica líquida de carbono por sumidouros ($C_{AR-CDM,t}$): remoção líquida de carbono da atividade de reflorestamento implantada, descontando as remoções da linha de base e as fugas do projeto (CGEE, 2008), conforme a fórmula (5) a seguir:

$$C_{AR-CDM,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \quad (5)$$

Resultados e discussão

A Tabela 4 apresenta os resultados da simulação da produção florestal (m³/ha) do cenário de reflorestamento do projeto de MDL. A produção florestal foi simulada com densidade inicial

de 2.500 indivíduos por hectare e quatro colheitas, atingindo produtividade de 29,2 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ aos 30 anos. Esse resultado serviu como base para o cálculo da estimativa da remoção antrópica líquida de carbono.

Tabela 4 – Volume por hectare do cenário de reflorestamento do projeto florestal de MDL. *Volume per hectare of reforestation scenario of CDM forest project.*

Idade	Atividade	Volume Total (m ³ ha ⁻¹)			IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
		Total	Anual	Colhido	
1		-	-	-	-
2		0,8	0,8	-	0,4
3		9,1	9,1	-	3,0
4		31,8	31,8	-	8,0
5		68,4	68,4	-	13,7
6		115,1	115,1	-	19,2
7		168,1	168,1	-	24,0
8	1º Desbaste	224,4	224,4	82,4	28,1
9		273,0	190,6	-	30,3
10		316,7	234,3	-	31,7
11	2º Desbaste	360,2	277,8	108,6	32,7
12		382,6	191,6	-	31,9
13		417,7	226,7	-	32,1
14		451,2	260,2	-	32,2
15	3º Desbaste	483,7	292,7	69,7	32,2
16		522,6	261,9	-	32,7
17		551,9	291,2	-	32,5
18		580,3	319,6	-	32,2
19		608,1	347,4	-	32,0
20	4º Desbaste	635,4	374,7	91,6	31,8
21		668,2	315,9	-	31,8
22		693,3	341,0	-	31,5
23		717,8	365,5	-	31,2
24		741,8	389,5	-	30,9
25		765,4	413,1	-	30,6
26		788,6	436,3	-	30,3
27		811,5	459,2	-	30,1
28		834,0	481,7	-	29,8
29		856,0	503,7	-	29,5
30	Corte raso	877,4	525,1	525,1	29,2

FONTE: SisPinus (EMBRAPA, 2002).

Os resultados da simulação do projeto florestal de MDL, obtidos por meio da ferramenta TARAM v.1.3 estão apresentados a seguir.

Considerando somente o cenário “manutenção da pastagem em seu estado atual”, a estimativa da remoção líquida de carbono da linha de base resultou em zero, pois foi conside-

rado um cenário de linha de base com pastagens em estado constante de remoção de carbono, sem a presença de árvores isoladas. Esse resultado foi mantido e adotado ao longo de todo o período do projeto de MDL e está coerente com a metodologia AR-AM0005.

Por outro lado, no que concerne ao cenário “florestamento/reflorestamento a uma taxa de pré-projeto”, a estimativa da remoção líquida de carbono da linha de base resultou em 1.810.212,66 toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e), conforme pode ser observado na Tabela

5. Esse valor formou o resultado final da estimativa da remoção líquida de carbono da linha de base, que foi calculada a partir da soma dos resultados dos dois cenários de linha de base.

Tabela 5 – Estimativa da remoção líquida de carbono da linha de base sob o cenário “florestamento/reflorestamento a uma taxa de pré-projeto”. *Estimation of baseline net carbon removal under the scenario “afforestation/reforestation at a rate of pre-project”.*

Anos	Produção de volume a uma taxa de pré-projeto (m ³)	Remoção líquida de carbono da linha de base a uma taxa de pré-projeto (tCO ₂ e)
1	193,48	178,40
2	2.200,89	2.029,34
3	7.691,02	7.091,53
4	16.542,94	15.253,47
5	27.837,61	25.667,76
6	40.655,97	37.486,97
7	54.272,45	50.042,10
8	46.097,72	42.504,56
9	56.666,82	52.249,84
10	67.187,55	61.950,51
11	46.339,58	42.727,57
12	54.828,72	50.555,01
13	62.930,89	58.025,64
14	70.791,20	65.273,27
15	63.342,04	58.404,75
16	70.428,42	64.938,76
17	77.297,13	71.272,08
18	84.020,72	77.471,59
19	90.623,38	83.559,60
20	76.402,26	70.446,96
21	82.472,84	76.044,36
22	88.398,31	81.507,96
23	94.202,85	86.860,06
24	99.910,65	92.122,95
25	105.521,70	97.296,64
26	111.060,20	102.403,44
27	116.501,96	107.421,03
28	121.822,79	112.327,11
29	126.998,50	117.099,40
30	0,00	0,00
Total	1.963.240,57	1.810.212,66
Média por hectare	280,46	259,60

A soma das mudanças no estoque de carbono na biomassa viva do reflorestamento de *Pinus taeda* totalizou 2.512.549,43 tCO₂e ao final de 30 anos do projeto de MDL (Tabela 6).

Na Tabela 7, estão apresentados os valores das emissões de carbono por fontes, decorrentes da implantação do projeto de MDL, que totalizaram ao final de 30 anos 104.729,03 tCO₂e.

Analisando esse resultado separadamente, pode-se observar que as emissões de carbono devido à perda de biomassa somaram 90.090,00 tCO₂e. Essas emissões ocorreram somente nos cinco primeiros anos, pois é quando acontece a retirada da pastagem para a implantação do plantio florestal.

Com relação à queima de combustíveis fósseis por uso de veículos, as emissões de carbono somaram 14.639,03 tCO₂e. Observa-se que, durante os cinco primeiros anos, ocorreu aumento das emissões decorrentes das atividades de preparo do terreno e plantio, bem como do 8^o ao 30^o ano também ocorreram emissões decorrentes das atividades de desbaste e corte raso.

A partir da subtração dos resultados da mudança no estoque de carbono na biomassa viva pelos resultados das emissões de carbono por fontes, foi obtida a estimativa da remoção real líquida de carbono do projeto de MDL, que resultou em 2.407.820,40 tCO₂e.

Tabela 6 – Soma da mudança do estoque de carbono na biomassa viva do reflorestamento de *Pinus taeda*. Sum of carbon stock change in living biomass of reforestation of *Pinus taeda*.

Anos	Reservatório de carbono – Biomassa Viva (tCO ₂ e ano ⁻¹)		
	Acima do solo	Abaixo do solo	Total
1	937,68	168,78	1.106,46
2	10.666,13	1.919,90	12.586,03
3	37.272,84	6.709,11	43.981,95
4	80.171,76	14.430,92	94.602,68
5	134.596,36	24.227,34	158.823,70
6	192.849,81	34.712,97	227.562,78
7	243.484,61	43.827,23	287.311,84
8	171.830,12	30.929,42	202.759,54
9	176.205,97	31.717,07	207.923,04
10	169.993,83	30.598,89	200.592,72
11	5.547,95	998,63	6.546,58
12	15.901,51	2.862,27	18.763,79
13	64.504,67	11.610,84	76.115,51
14	51.455,27	9.261,95	60.717,22
15	15.041,97	2.707,56	17.749,53
16	103.027,75	18.544,99	121.572,74
17	95.799,79	17.243,96	113.043,75
18	89.509,51	16.111,71	105.621,22
19	108.145,92	19.466,27	127.612,19
20	51.845,97	9.332,27	61.178,24
21	47.274,77	8.509,46	55.784,23
22	42.938,00	7.728,84	50.666,83
23	38.679,36	6.962,28	45.641,64
24	67.981,90	12.236,74	80.218,65
25	131.314,47	23.636,60	154.951,07
26	128.970,27	23.214,65	152.184,91
27	126.821,41	22.827,85	149.649,27
28	124.633,49	22.434,03	147.067,52
29	122.211,15	21.998,01	144.209,15
30	-520.335,05	-93.660,31	-613.995,36
Total	2.129.279,18	383.270,25	2.512.549,43
Média hectare	304,18	54,75	358,94

A Figura 1 apresenta a tendência dos resultados anuais da estimativa da remoção real líquida de carbono, ao longo de 30 anos do projeto de MDL. Pode-se observar que os valores de tCO₂e são negativos nos 2 primeiros anos do projeto de MDL, devido à retirada da pastagem para a implantação do plantio de *Pinus taeda*. Esses valores vão aumentando até o 7^o ano do projeto. Do 8^o ao 25^o ano, os valores oscilam, com reduções no 8^o, 11^o, 15^o e 20^o ano como resultado dos desbastes. No 30^o ano do projeto, a remoção real líquida de carbono torna-se negativa, devido ao corte raso das árvores do projeto.

O resultado total de fugas do projeto de MDL, obtido no final do período de 30 anos, foi de 6.132,51 tCO₂e. A Figura 2 apresenta a tendência dos resultados anuais da estimativa de fuga. Observa-se que, no primeiro ano de projeto, houve um aumento das fugas devido às atividades do plantio de *Pinus taeda*, e manteve-

-se constante até o 5^o ano de projeto. Do 8^o ao 23^o ano, o valor da fuga aumenta de maneira geral, devido às atividades de desbaste. Posteriormente, do 25^o ao 29^o ano, o valor da fuga é zero devido à ausência de atividades neste período. Por fim, no 30^o ano, ocorre novo aumento atribuído à atividade de corte raso das árvores.

A estimativa da remoção antrópica líquida de carbono totalizou, ao final de 30 anos do projeto de MDL, 591.475,23 tCO₂e.

Na Tabela 8, observa-se o resumo das principais estimativas da simulação do projeto de MDL, com os anos do calendário, considerando o início do projeto em 2010. Em destaque na Tabela 8, aparecem os valores acumulativos das estimativas do último ano do projeto (30^o ano).

Por fim, a simulação do projeto de MDL resultou na média anual da remoção antrópica líquida de carbono de 19.716 tCO₂e ano⁻¹, bem

como na média anual e por hectare de 2,82 tCO₂e ano⁻¹ ha⁻¹.

A Figura 3 apresenta uma comparação entre os resultados acumulativos da remoção real líquida de carbono com os resultados da remoção líquida de carbono da linha de base.

Nota-se que, do 4^o ao 30^o ano, as remoções de carbono do reflorestamento com *Pinus taeda* superaram as remoções de carbono da linha de base, possibilitando a geração de “créditos de carbono” na implementação do projeto de MDL.

Tabela 7 – Emissão de carbono por fontes decorrentes da implantação do projeto de MDL. *Carbon emission by sources as result of the implementation of CDM forest project.*

Anos	Emissão de carbono por fontes (t CO ₂ e.ano ⁻¹)		
	Perda de biomassa	Queima de combustível	Total
1	19.305,00	394,23	19.699,23
2	19.305,00	394,23	19.699,23
3	19.305,00	394,23	19.699,23
4	19.305,00	394,23	19.699,23
5	12.870,00	262,82	13.132,82
6	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00
8	0,00	486,21	486,21
9	0,00	486,21	486,21
10	0,00	486,21	486,21
11	0,00	1.127,01	1.127,01
12	0,00	964,94	964,94
13	0,00	640,80	640,80
14	0,00	640,80	640,80
15	0,00	838,47	838,47
16	0,00	411,27	411,27
17	0,00	411,27	411,27
18	0,00	411,27	411,27
19	0,00	274,18	274,18
20	0,00	540,49	540,49
21	0,00	540,49	540,49
22	0,00	540,49	540,49
23	0,00	540,49	540,49
24	0,00	360,33	360,33
25	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00
30	0,00	3.098,38	3.098,38
Total	90.090,00	14.639,03	104.729,03
Média hectare	12,87	2,09	14,96

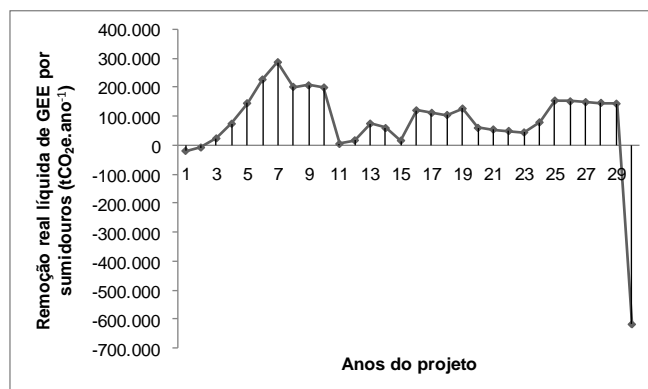


Figura 1 – Remoção anual líquida de carbono ao longo dos 30 anos do projeto de MDL. *Annual trend of actual net carbon removal during 30 years of CDM forest project.*

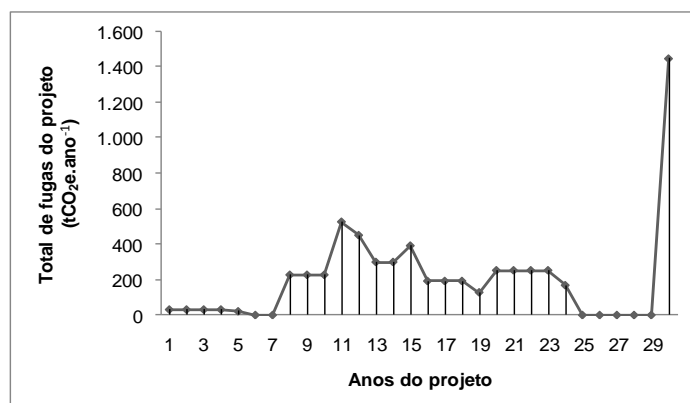


Figura 2 – Tendência anual das fugas ao longo dos 30 anos do projeto florestal de MDL. *Annual trend of leakage during 30 years of CDM forest project.*

Tabela 8 – Resumo das principais estimativas da simulação do projeto florestal de MDL (tCO₂e). *Summary of main estimates of the simulation of CDM forest project (tCO₂e).*

Anos do projeto	Anos do Calendário	Remoções da linha de base	Remoção real	Fugas do projeto	Remoção antrópica líquida
1	2010	178	-18.593	31	-18.802
2	2011	2.208	-25.706	62	-27.976
3	2012	9.299	-1.423	93	-10.816
4	2013	24.553	73.480	124	48.803
5	2014	50.221	219.171	145	168.805
6	2015	87.707	446.734	145	358.881
7	2016	137.750	734.046	145	596.151
8	2017	180.254	936.319	373	755.692
9	2018	232.504	1.143.756	600	910.652
10	2019	294.454	1.343.862	828	1.048.580
11	2020	337.182	1.349.282	1.355	1.010.745
12	2021	387.737	1.367.081	1.806	977.537
13	2022	445.763	1.442.556	2.106	994.687
14	2023	511.036	1.502.632	2.406	989.190
15	2024	569.441	1.519.543	2.798	947.304
16	2025	634.379	1.640.704	2.990	1.003.335
17	2026	705.652	1.753.337	3.183	1.044.502
18	2027	783.123	1.858.547	3.375	1.072.048
19	2028	866.683	1.985.885	3.504	1.115.699
20	2029	937.130	2.046.523	3.756	1.105.637
21	2030	1.013.174	2.101.766	4.009	1.084.583
22	2031	1.094.682	2.151.893	4.262	1.052.949
23	2032	1.181.542	2.196.994	4.515	1.010.937
24	2033	1.273.665	2.276.852	4.683	998.504
25	2034	1.370.962	2.431.803	4.683	1.056.158
26	2035	1.473.365	2.583.988	4.683	1.105.940
27	2036	1.580.786	2.733.637	4.683	1.148.168
28	2037	1.693.113	2.880.705	4.683	1.182.908
29	2038	1.810.213	3.024.914	4.683	1.210.018
30	2039	1.810.213	2.407.820	6.133	591.475
Total de remoção antrópica líquida (tCO ₂ e)					591.475
Emissões totais por fontes (tCO ₂ e)					104.729
Balanço de emissões (tCO ₂ e)					486.746

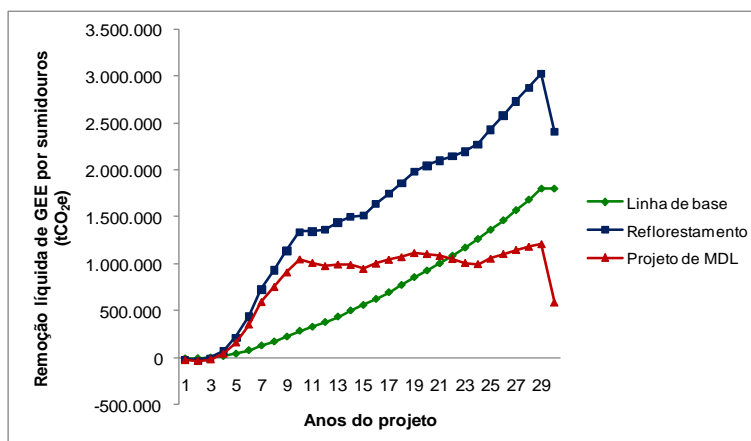


Figura 3 – Remoção real do projeto e a remoção líquida de carbono da linha de base. *The actual net carbon removal of project and the baseline net carbon removal.*

Conclusões

O projeto florestal de MDL simulado no presente estudo atende às premissas elegibilidade e adicionalidade, com balanço positivo de remoções x emissões antrópicas da ordem de 486.746 tCO₂e, ou seja, 16.225 tCO₂e ano⁻¹ ou 2,32 tCO₂e ano⁻¹ ha⁻¹. As premissas relacionadas à linha de base, ao reflorestamento, às fugas do projeto e quaisquer outras afetam as estimativas de remoção antrópica líquida do projeto.

A elaboração de um projeto florestal de MDL requer o conhecimento e o estudo da metodologia de MDL aprovada que será aplicada e das ferramentas que serão utilizadas. A metodologia AR-AM0005 da UNFCCC (2010b) utilizada neste estudo é específica para projetos de MDL A/R para florestas com fins comerciais e industriais. A aplicação da ferramenta TARAM é de grande auxílio no desenvolvimento de projetos florestais de MDL com esta metodologia, visto facilitar o cálculo das emissões e remoções num projeto de MDL florestal.

Este estudo demonstrou a viabilidade técnica de um projeto A/R de grande escala no âmbito do MDL, no tocante à remoção líquida de carbono atmosférico, porém é necessário complementá-lo com um estudo da viabilidade econômica antes de sua elaboração e implantação.

Plantações florestais comerciais podem contribuir na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, principalmente se houver o compromisso da permanência dos estoques de carbono na floresta por um horizonte temporal longo e se a madeira advinda da mesma for utilizada para fins estruturais, armazenando carbono nos produtos, ou se for utilizada como bioenergia na substituição de combustíveis fósseis.

Referências

- ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2009**: ano base 2008. Brasília: [s.n.], 2009. 120p.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Manual de capacitação sobre mudança do clima e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**. Brasília: T. de C. Pires, 2008. 276p.
- CHANG, M. Y. Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. In: SANQUETTA, R. C.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisa**. Curitiba: AM Impressos, 2004. p.15-37.
- DCP-PLANTAR - PLANTAR S/A - DOCUMENTO DE CONCEPÇÃO DO PROJETO. **Formulário do documento de concepção do projeto para atividades de projetos de florestamento e reflorestamento (CDM-AR-PDD) - versão 04**. Projeto Plantar - Reflorestamento como Fonte Renovável de Suprimento de Madeira para Uso Industrial no Brasil. MDL – Conselho Executivo. 2009. 231p. Disponível em: < http://www.mct.gov.br/upd_blob/0200/200628.pdf >. Acesso em: 15 set. 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **SisPinus: Sistema de prognose do crescimento e produção de florestas - versão 2002**. Colombo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2002. Software.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2001: A contribution of working groups I, II, and III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** United Kingdom: R.T. Watson: The Core Writing Team, 2001. 398 p. Disponível em:

<http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/>. Acesso em: 27 out.2009. Synthesis report.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.** Kanagawa, Japan: J. Penman, 2003, 583 p. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html>. Acesso em: 02 jul. 2009.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação 2009.** Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio: FIDES, 2009. 131p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0205/205947.pdf>. Acesso em: 04 ago.2009.

ROCHA, M. T. O aquecimento global e os instrumentos de mercado para a solução do problema. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba, 2002. p.1-34.

SETTE JUNIOR, C. R.; NAKAJIMA, N. Y.; GEROMINI, M. P. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Rio Negrinho, SC. **Revista Floresta**, Curitiba, v.36, n.1, p.317-324, 2006.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **The united nations framework convention on climate change.** Disponível em:

<http://unfccc.int/essential_background/convention/items/2627.php>. Acesso em: 02 fev.2010a.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **The mechanisms under the Kyoto Protocol: Emissions Trading, the Clean Development Mechanism and Joint Implementation.** Disponível em:

<http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/items/1673.php>. Acesso em: 02 fev. 2010b.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change - 1998.** Disponível em:

<<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2009.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **United Nations framework convention on climate change - 1992.** Disponível em:

<<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2009.

VCS - Voluntary Carbon Standard. **Guidance for Agriculture, Forestry and Other Land Use Projects.** [S.l.: s.n.], 2007. 54p. Disponível em: <<http://www.v-c-s.org/docs/AFOLU%20Guidance%20Document.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2009.