

Contribuição da seringueira para o seqüestro de carbono

Ciríaca Arcângela Ferreira de Santana do Carmo¹

Celso Vainer Manzatto²

Antônio de Pádua Alvarenga³

Resumo - A seringueira é uma planta que poderá contribuir para a redução do efeito estufa, fenômeno provocado pela concentração de gases na atmosfera, com aumento da temperatura global. Vários gases são responsáveis por esse efeito, mas o dióxido de carbono (CO₂) é o que tem causado maiores preocupações. Sua concentração na atmosfera vem crescendo à taxa de 0,4% ao ano. Algumas medidas podem ser adotadas para reduzir a emissão desse gás, dentre elas, o reflorestamento, partindo-se do princípio que, por meio do processo fotossintético dos vegetais, o carbono é captado da atmosfera e transformado em biomassa. Por se tratar de uma planta adaptável à grande parte do território nacional, apresentar longevidade na produção e possuir uma cadeia produtiva fortemente dependente de mão-de-obra, além de ser uma cultura seqüestradora de carbono da atmosfera, em quantidades equivalentes ao de uma floresta natural, a seringueira constitui uma boa opção para a ocupação de áreas degradadas, uma alternativa econômica para pequenos e médios produtores.

Palavras-chave: *Hevea* spp. Heveicultura. Borracha. Efeito estufa. Dióxido de carbono. Biomassa. Ciclagem de nutriente.

INTRODUÇÃO

O seqüestro de carbono é um processo natural consagrado na Conferência de Quioto, em 1997, com os objetivos de conter e reverter o acúmulo do dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera e reduzir o efeito estufa. Trata-se, este efeito, do fenômeno natural produzido por gases que formam uma espécie de parede, que permite que a luz solar chegue à superfície terrestre, mas ao mesmo tempo impede que a radiação retorne para o espaço em forma de calor.

As ações decorrentes das atividades econômicas e industriais têm provocado alterações da concentração desses gases, resultando na quase duplicação dessa con-

centração, o que poderá desencadear um aumento da temperatura média no planeta entre 1,4°C e 5,8°C nos próximos 100 anos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001). Como principais conseqüências têm-se o aparecimento de tufões, enchentes, desequilíbrios climáticos, em geral, e elevação do nível do mar.

Os principais gases de efeito estufa são o vapor d'água, que aumenta com a elevação da temperatura; o CO₂, produzido pela decomposição orgânica e queima de combustíveis fósseis; o metano, produzido pela decomposição anaeróbica; os óxidos nitrosos, produzidos pelo uso de fertilizantes

nitrogenados e pela combustão; os halocarbonos químicos, como os clorofluorcarbonos (CFCs), produzidos por atividades industriais e domésticas. O CO₂ é que tem causado maiores preocupações, pois sua concentração na atmosfera vem crescendo à taxa de 0,4% ao ano. Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), cerca de ¾ das emissões antrópicas de CO₂ para a atmosfera, nos últimos 20 anos, são decorrentes da queima de combustíveis fósseis, principalmente pelos setores industrial e de transportes, e a parte restante é predominantemente, devida à mudança do uso do solo, a queimadas e a desmatamentos (SCARPINELLA, 2002).

¹Eng^a Agr^a, M.Sc., Consultora em projetos de heveicultura. Correio eletrônico: ciriacaacarmo@gmail.com

²Eng^a Agr^a, D.Sc., Pesq. Embrapa Solos, CEP 22460-000 Rio de Janeiro-RJ. Correio eletrônico: manzatto@cnps.embrapa.br

³Eng^a Agr^a, D.Sc., Pesq. EPAMIG-CTZM, Caixa Postal 216, CEP 36570-000 Viçosa-MG. Correio eletrônico: padua@epamig.ufv.br

Algumas medidas podem ser adotadas para reduzir a emissão desse gás na atmosfera, dentre elas, destaca-se o reflorestamento, partindo-se do princípio que, por meio do processo fotossintético dos vegetais, o CO₂ é fixado em compostos reduzidos de carbono e armazenado em forma de biomassa (SALATI, 1994; MARTINEZ, 2001). A quantidade de carbono estocado na biomassa de uma floresta, varia com o tipo de vegetação, idade das plantas, clima, solo, manejo e condições nutricionais (HOUGHTON, 1994; ALBRECHT; KANDJI, 2003). Neste contexto, a implantação da heveicultura em áreas subutilizadas ou degradadas, com o emprego de alta tecnologia e material genético adequado, implicará no aumento da produção de biomassa e, conseqüentemente, do estoque de carbono (JACOVINE et al., 2006).

A SERINGUEIRA

A seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.D. Juss.) Müell. Arg.) representa a principal fonte de borracha natural produzida no mundo (CORNISH, 2001; GONÇALVES et al., 2001), sendo um produto estratégico e insubstituível em função de suas características peculiares como: elasticidade, flexibilidade, resistência à abrasão e à corrosão, impermeabilidade e fácil adesão a tecidos e ao aço (COSTA et al., 2000; GONÇALVES et al., 2001). Também é uma cultura extremamente versátil, que pode ser considerada uma espécie florestal, uma vez que, ao final de seu ciclo produtivo, sua madeira pode ser utilizada para diversos fins, como para a fabricação de móveis, caixotes, utensílios de cozinha, construção civil e outros. Dessa forma, a espécie pode ser implantada em projetos de reflorestamento, de acordo com a lei de reposição florestal, podendo atuar como espécie pioneira em projetos de recomposição de reserva legal. Além disso, trata-se de uma cultura que poderá contribuir para a redução do efeito estufa, preservando mananciais, protegendo e melhorando as propriedades físicas do solo, clima, flora e

fauna. A seringueira tem importância social, ecológica e econômica, podendo ser considerada como uma grande opção ambiental.

Em termos sociais, a cultura da seringueira é adequada para pequenos e médios produtores, uma vez que o sistema de produção permite a obtenção de borracha o ano inteiro, gerando renda e emprego e fixando o homem à terra. Estudos demonstram que para cada 2.000 a 4.000 árvores sangradas, necessita-se uma família de quatro pessoas, podendo ocupar mulheres e jovens, garantindo trabalho e sustento durante o ano todo, com opção de renda semanal, quinzenal ou mensal. No entanto, apesar de a seringueira ser uma cultura de grande importância para o agronegócio nacional, pouco tem sensibilizado os governantes, uma vez que importamos dos países asiáticos cerca de 70% de borracha natural, para atender ao consumo interno.

O amplo espaçamento da seringueira (20 m² de área útil) admite com vantagens seu cultivo em associação com culturas anuais, semiperenes, perenes, ou com leguminosas de cobertura. As vantagens do estabelecimento de práticas agroflorestais com seringueira residem principalmente na redução dos custos de implantação do seringal, bem como na geração de renda até a cultura entrar em produção. As culturas de ciclo curto nas entrelinhas do seringal, principalmente em áreas de pequenos produtores, podem ser o arroz, feijão, milho, hortaliças, batata-doce, abacaxi, melancia etc. e as perenes como cacau, guaraná, café, palmito, pupunha, açazeiro etc.

Nesse contexto, plantios de seringueira representariam um esforço expressivo em termos ambientais uma vez que, além de contribuir para o seqüestro do carbono da atmosfera, ainda tem vida útil de cerca de 40 anos, realizando os processos metabólicos, tanto para o seu crescimento, como para a produção de látex. O aumento de borracha natural também reduziria a produção de borracha sintética, que é um pro-

duto, altamente poluente, resultante de um processo industrial, cuja matéria-prima é o petróleo, um dos principais responsáveis pela emissão do carbono atmosférico.

Plantios de seringueira caracterizam-se por:

- a) apresentar desenvolvimento satisfatório, quando implantada em áreas degradadas/abandonadas e de relevo fortemente ondulado, com manejo adequado;
- b) permitir o plantio direto nas covas, sem revolvimento da área, evitando redução do estoque de carbono do solo;
- c) permitir a manutenção da vegetação natural entre as linhas de plantio;
- d) permitir o consórcio com culturas anuais e semiperenes, reduzindo os custos de produção;
- e) produzir, durante todo o ano, reduzindo a mão-de-obra sazonal, propiciando a geração de empregos e a fixação do homem no campo;
- f) promover o fortalecimento da agricultura familiar, uma vez que cada 5 ha da cultura demanda o trabalho suficiente para o sustento de uma família de quatro pessoas, reduzindo o impacto do êxodo rural.

A heveicultura, portanto, constitui uma atividade altamente sustentável, se enquadrada nos critérios de elegibilidade para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Tratado de Quioto, podendo ser considerada uma forte candidata à geração dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs).

A eficiência da seringueira em estocar o carbono atmosférico em quantidades equivalentes ao de uma floresta natural foi comprovada por Rahaman e Sivakumaram (1998). Segundo estes autores, o total de carbono seqüestrado na biomassa da madeira e na borracha produzida por um hectare de seringueira aos 30 anos é de 135 toneladas.

Carmo et al. (2006) realizaram estudos visando à quantificação da biomassa da parte aérea e da raiz nos clones de seringueira, RRIM 600 e IAN 873, com 15 e 20 anos de implantação, respectivamente, plantados na região da Zona da Mata, no município de Oratórios-MG. Os autores quantificaram o carbono estocado na biomassa fresca e seca da parte aérea e da raiz, bem como a sua distribuição nos diferentes compartimentos vegetais dos dois clones (Quadro 1). Verificaram no clone IAN 873, que a biomassa fresca e seca total encontrada foi de cerca de 527,1 e 234,5 kg/árvore, respectivamente, e que as maiores quantidades foram encontradas nos galhos grossos, representando 57,5% da biomassa total da parte aérea, seguidos do caule, com 23,4%, dos galhos finos, com 12,1% e das folhas com 7,0%.

Rahaman e Sivakumaram (1998), trabalhando com seringal policlonal de 30 anos no Sudeste Asiático, encontraram biomassa seca aérea de cerca de 381,9 kg/árvore e peso do caule correspondente a 11% do peso seco total da árvore. Haag e Viégas (2000) observaram que o crescimento da seringueira nos países asiáticos é bem mais intenso do que no Brasil. Segundo os autores, isso provavelmente deve-se à maior fertilidade e à adequação física dos solos, aliadas ao manejo da cultura e à ausência de doenças fúngicas.

Seguindo a mesma tendência observada para a biomassa, maior quantidade de carbono orgânico estocado foi verificada nos galhos principais da seringueira, seguido dos caules, galhos finos e folhas (Quadro 2). O carbono orgânico estocado na biomassa aérea do clone IAN 873, em média, totalizou 105,4 kg/árvore. Considerando que um hectare da seringueira tem em média 500 árvores, o teor de carbono orgânico estocado na biomassa aérea, totaliza 52.700 kg/ha ou 52,7 Mg/ha.

Haag e Viégas (2000) quantificando o carbono estocado na biomassa aérea fresca e seca nos diferentes compartimentos vegetais da parte aérea do clone RRIM 600 (Quadro 3) chegaram às seguintes con-

QUADRO 1 - Dados médios de biomassa fresca e seca estocada em diferentes compartimentos vegetais da parte aérea do clone de seringueira IAN 873

Compartimento vegetal	Biomassa fresca (kg/árvore)	Biomassa seca (kg/árvore)
Caule	97,3	54,9
Galho grosso	335,4	134,8
Galho fino	63,4	28,3
Folha	31,0	16,5
Total	527,1	234,5

QUADRO 2 - Dados médios do carbono orgânico estocado na biomassa dos diferentes compartimentos vegetais da parte aérea do clone de seringueira IAN 873

Compartimento vegetal	Carbono orgânico (kg/árvore)	%
Caule	24,7	23,4
Galho grosso	60,6	57,5
Galho fino	12,7	12,1
Folha	7,4	7,0
Total	105,4	100

QUADRO 3 - Dados médios da biomassa fresca e seca estocada nos diferentes compartimentos vegetais da parte aérea do clone de seringueira RRIM 600

Compartimento vegetal	Biomassa fresca (kg/árvore)	Biomassa seca (kg/árvore)
Caule	95,6	56,0
Galho grosso	276,0	111,6
Galho fino	139,3	71,3
Folha	42,0	25,9
Total	552,9	264,8

clusões: o peso seco, tanto do caule quanto da copa da seringueira, corresponde a 59% e 48%, respectivamente, do peso fresco dos dois compartimentos. Da mesma forma, espécies nativas da floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia, hábitat da seringueira, apresentam concentrações semelhantes de água nos tecidos, conforme observado por Higuchi et al. (1998). Estes autores encontraram para o peso seco do tronco e da copa, percentuais da ordem

de 61% e 58%, em relação ao peso fresco, respectivamente. Os resultados corroboram o que já se conhece sobre a fisiologia da seringueira quanto à sua necessidade de um bom suprimento de água no solo.

Carmo et al. (2006) observaram também que o peso seco do caule representa 21% do peso seco total da planta, diferentemente das espécies nativas da floresta tropical úmida de terra firme, na Amazônia, cujo caule representa 65,6% do pe-

so total da árvore (HIGUCHI et al., 1998) e das florestas plantadas de *Pinus taeda* e *Acacia mearnsiia*, no Paraná, cujos caules representam cerca de 70% do peso total (SCHUMACHER et al., 2002). Segundo Schumacher (1996), durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, grande parte dos carboidratos é direcionada para a produção de biomassa da copa e das raízes. Com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si, ocorre aumento da produção relativa do tronco e redução gradativa das folhas e galhos. Andrade (1982 apud SCHUMACHER et al., 2002) enfatiza que o maior percentual de biomassa de um povoamento florestal encontra-se no tronco e este tende a aumentar, à medida que o povoamento envelhece.

Conforme dados obtidos por Reis et al. (1987) e Moraes (1988), trabalhando com *Eucalyptus*, e Castro (1984) e Poggiani (1985), com *Pinus*, verifica-se que a variabilidade na biomassa de cada compartimento, bem como a total, é muito grande, tanto em função da espécie, quanto da sua localização na paisagem. No caso das duas espécies estudadas, verificou-se que a copa da árvore representa pequena proporção da biomassa da parte aérea e as maiores quantidades são encontradas no tronco.

Nos plantios de seringueira, na Zona da Mata em Minas Gerais, acredita-se que o amplo espaçamento entre árvores (8,0 x 2,50 m), aliado à declividade das áreas, não constitui fatores limitantes para o desen-

volvimento das copas, como nas florestas.

As maiores quantidades de carbono orgânico estocadas na biomassa aérea da seringueira do clone RRIM 600 foram encontradas nos galhos grossos, com 50,2 kg/árvore, representando 42% do carbono total da parte aérea, seguidos dos galhos finos, do caule e das folhas (Quadro 4). O carbono orgânico estocado na biomassa aérea da seringueira do clone RRIM 600, em média, totalizou 119,4 kg/árvore. Considerando-se que um hectare de seringueira no espaçamento de 8,0 m x 2,5 m tem 500 árvores, a quantidade de carbono orgânico estocado na biomassa aérea totaliza 59.650 kg/ha ou 59,6 Mg/ha.

Fazendo uma comparação entre os dois clones, IAN 873 e RRIM 600, na análise dos dados da biomassa seca por compartimento da parte aérea, constatou-se que ambos os clones estocaram maior biomassa nos galhos grossos, representando 42% e 58%, respectivamente, do total estocado na parte aérea dos clones RRIM 600 e IAN 873. Já os caules, contribuíram com cerca de 20% e 23% do total. O clone RRIM 600 estocou, no total, 12% a mais de biomassa que o IAN 873, ambos com, respectivamente, 264,8 kg/árvore e 234,5 kg/árvore de biomassa aérea.

Pereira e Ramos (2004), ao avaliar um seringal de 15 anos de idade, clone PB 235, localizado em Paranapoema, PR, sobre Latossolo Vermelho-Escuro, encontraram a seguinte distribuição de biomassa por compartimento: galhos grossos, 41%, e caule, 40,5%. Já Lima et al. (2003), trabalhando

em uma capoeira de 38 anos, também localizada na Fazenda Experimental Vale do Piranga (FEVP) da EPAMIG, em Oratórios, MG, encontraram que a fração constituída por galhos grossos contribuiu com apenas 10% da biomassa total, sendo o tronco responsável por cerca de 80% da biomassa aérea. Nessa capoeira, as árvores estocaram, em média, apenas 54 kg/árvore, ou seja, cerca de cinco vezes menos biomassa que o clone de maior biomassa aérea, o RRIM 600.

É interessante observar que, apesar da diferença de 5 anos de implantação de um clone para outro, provavelmente o que determinou maior crescimento da parte aérea do clone RRIM 600 foi o manejo diferenciado e o seu potencial genético.

BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO NA RAIZ

Os estudos do sistema radicular da seringueira são de primordial importância, principalmente em áreas com período seco definido, uma vez que a seringueira necessita de um sistema radicular profundo e bem distribuído, a fim de facilitar a absorção de água em maiores profundidades no solo, de modo que mantenha o "status hídrico" das plantas, principalmente considerando que o látex é composto de 60% de água.

Carmo et al. (2006) encontraram que a biomassa seca da raiz pivotante do clone IAN 873 foi cerca de 1,7 vezes maior que a do clone RRIM 600. Já no caso das raízes laterais, ocorreu o inverso, o clone RRIM 600 apresentou 1,2 vezes mais biomassa seca que o IAN 873. Considerando que as raízes laterais principalmente as radículas são responsáveis pela absorção de água e nutrientes na superfície do solo, talvez isso explique a razão de o RRIM 600, mesmo com 5 anos menos que o IAN 873, apresentar biomassa aérea semelhante ao IAN 873. Foi verificado que grande parte do sistema radicular está concentrada nos primeiros 20 a 30 cm do solo, onde são encontradas raízes grossas de sustentação (perímetro entre 27 e 11 cm), que se desenvolvem paralelas à pivotante, até, mais ou menos, a pro-

QUADRO 4 - Dados médios do carbono orgânico estocado em diferentes compartimentos vegetais do clone de seringueira RRIM 600

Compartimento vegetal	Carbono orgânico (kg/árvore)	%
Caule	25,3	21
Galho grosso	50,2	42
Galho fino	32,1	27
Folha	12,0	10
Total	119,6	100

fundidade de 2 m. Essas raízes são importantes em áreas muito declivosas, onde é comum a ocorrência de queda de árvores provocada por ação dos ventos fortes. Cabe ressaltar que, tendo em vista que a raiz pivotante representou em média 82% do sistema radicular, a quantificação da biomassa da pivotante é imprescindível para a correta estimativa de biomassa radicular.

Assim, a estimativa do carbono orgânico na biomassa radicular da seringueira apresentou a seguinte distribuição: teor médio do clone IAN 873 de 21,8 Mg/ha e o clone RRIM 600 com cerca de 14,2 Mg/ha (Quadro 5). É interessante observar que, apesar de o clone IAN 873 apresentar maior biomassa nas raízes que o RRIM 600, neste verificou-se maior acúmulo na parte aérea, o que resultou em um acúmulo total de carbono por área semelhante entre os dois clones.

Os resultados referentes ao carbono estocado na biomassa ficam assim distribuídos: no clone IAN 873, com um total de 74,5 Mg/ha, onde 52,7 Mg/ha foram representados pela parte aérea e 21,8 Mg/ha pelas raízes, enquanto no clone RRIM 600 o total de carbono foi de 73,8 Mg/ha, com 59,6 Mg/ha na parte aérea e 14,2 Mg/ha nas raízes.

O acúmulo total de biomassa, observado por Pereira e Ramos (2004) no seringal de PB 235 de 15 anos, no Paraná (93,6 Mg/ha), foi 20% maior que o verificado

no RRIM 600 e no IAN 873. No entanto, o estoque de raízes foi de duas a três vezes menor (13,4 Mg/ha).

Lima et al. (2004), estudando uma capoeira de 38 anos encontrou um total de biomassa de cerca de 44,9 Mg/ha; assim distribuídos: na parte aérea, 28,8 Mg/ha e nas raízes, 16,1 Mg/ha, demonstrando que os clones IAN 873 e RRIM 600 estocaram, em média, 28,6 Mg/ha a mais de carbono.

CICLAGEM DE NUTRIENTES

A seringueira é uma cultura que tem o hábito caducifólio e caracteriza-se pela queda de folhas e de outros componentes da parte aérea, os quais irão formar a serrapilheira, constituindo importante mecanismo de transferência de nutrientes da fitomassa vegetal para o solo. Segundo Andrade et al. (2003), o acúmulo de serrapilheira na superfície do solo é regulado pela quantidade de material que cai da parte aérea das árvores e sua taxa de decomposição. A compreensão da dinâmica da decomposição da serrapilheira é importante para aferir o balanço de carbono e nutrientes em sistemas florestais e agroflorestais. Sendo assim, Kindel et al. (2006) verificaram a contribuição da queda de material vegetal (folhiço) na matéria orgânica, carbono e macronutrientes do solo de seringais dos clones IAN 873 e RRIM 600, usando como referência fragmentos locais de Floresta Atlântica, isto é, uma capoeira de 38 anos

e um fragmento de mata primária. Estes estudos permitiram verificar a utilização de seringais de cultivos como alternativa para recuperação de áreas degradadas, bem como a influência dos diferentes clones, IAN 873 e RRIM 600, nas características do solo e, assim, contribuir para a compreensão do uso de seringais na reconstituição dos estoques orgânicos do solo e da sua condição nutricional.

Nos quatro sistemas ocorreu queda de material orgânico formador da serrapilheira ao longo de todo o ano, sendo, como era de se esperar, as quantidades maiores na mata primária. A fenologia para o material foliar e a soma de todo o material orgânico (galhos, pecíolo e material reprodutivo) seguiram o mesmo padrão. O total aportado foi de 2,1, 2,5, 3,8 e 5,0 Mg/ha/ano, respectivamente, no clone IAN 873, clone RRIM 600, na capoeira e na mata primária. Desse total, as folhas foram os constituintes mais representativos, contribuindo com 65% e 71%.

Para o material foliar, nos seringais, o período de maior queda foi entre maio e agosto. Nesses meses, caíram no solo 56% do total do material aportado ao longo do ano, evidenciando marcante hábito caducifólio. Nas matas, o período de maior queda foliar foi entre setembro e janeiro, com a máxima em outubro, decrescendo gradativamente o valor entre fevereiro e julho.

Murbach et al. (2003) encontraram valores de aporte de folhas semelhantes para seringais de 13 anos no estado de São Paulo (1,7 Mg/ha/ano). No entanto, esses valores foram bem menores que os observados em plantios de sabiá (6,5 Mg/ha/ano), acácia (5,8 a 6,4 Mg/ha/ano) (ANDRADE et al., 2000) e guachapele (10,8 Mg/ha/ano) (BALIERO et al., 2004). A quantidade de nitrogênio (N) medida nas folhas do aporte foi relativamente semelhante entre as áreas de seringueira e os fragmentos florestais, verificando-se na capoeira o menor valor, mas que só foi estatisticamente diferente ao valor medido no aporte do clone IAN 873. As quantidades de fósforo (P) foram maiores nos clones de seringueiras apenas

QUADRO 5 - Médias de biomassa seca e carbono orgânico das raízes laterais e pivotantes dos clones IAN 873 e RRIM 600

Compartimento vegetal	Biomassa seca (kg/ha)		Carbono orgânico (kg/ha)	
	Clone		Clone	
	IAN 873	RRIM 600	IAN 873	RRIM 600
Raízes laterais	5.941,0	7.450,0	2.673,4	3.352,5
Raízes pivotantes	42.601,7	24.210,3	19.170,8	10.895,0
Total de biomassa	48.542,7	31.660,3	-	-
Total de carbono	-	-	21.844,2	14.247,5

em relação à capoeira. Já os maiores valores de cálcio (Ca), manganês (Mg) e sódio (Na) e/ou potássio (K) foram observados no clone RRIM 600 e na mata primária, enquanto o menor valor de K foi observado no clone IAN 873. O P foi maior nos seringaais do que nos fragmentos. Murbach et al. (2003), em seringaais do clone RRIM 600 no estado de São Paulo encontraram quantidades de N (13,1 g/kg) semelhantes. Enquanto os valores de Mg (4,8 g/kg), K (1,1 g/kg) e P (0,9 g/kg) foram um pouco maiores nos plantios de São Paulo, principalmente o Ca (24 g/kg).

Estoque de matéria orgânica

Observou-se maior estoque de serrapilheira no clone RRIM 600 que no IAN 873; essa diferença chegou a ser de quase uma tonelada por hectare no verão. No clone RRIM 600, verificou-se certa estabilidade no estoque acumulado entre as quatro estações de coleta, contribuindo o horizonte L com maior quantidade de material. Os clones apresentaram, em média, estoques totais de serrapilheira, significativamente, menores que os fragmentos florestais: 1,0 Mg/ha e 1,4 Mg/ha, respectivamente no IAN 873 e no RRIM 600; e 2,1 Mg/ha e 4,9 Mg/ha, respectivamente, na capoeira e na mata primária. Esses dados indicam que a dinâmica da decomposição foi bem diferente nas áreas de estudo, sendo a decomposição mais rápida nos seringaais que nos fragmentos de floresta. O coeficiente de decomposição k foi maior nos seringaais (IAN 873: 1,39/ano e RRIM 600: 1,20/ano) e na capoeira (1,32/ano) que na mata (0,66/ano), confirmando que a decomposição na mata é mais lenta.

Teor de nutrientes

O teor dos macronutrientes foi maior nas folhas do RRIM 600 que nas do IAN 873, principalmente o Ca que foi quase o dobro. O Ca é, portanto, o elemento de maior concentração nas folhas, seguido pelo N, o Mg, o K, o P e o Na. Para o valor da relação C/N e de P não foram observadas diferenças entre os clones.

Estoque de nutrientes

Os estoques de nutrientes acumulados nos horizontes dos seringaais seguiram a tendência observada para a análise dos teores de nutrientes das folhas do horizonte L. Ou seja, a quantidade de nutrientes foi significativamente maior no RRIM 600 que no IAN 873. Mesmo o P, cujo teor não diferiu entre os clones, apresentou, em relação ao estoque, maiores valores no RRIM 600. O pequeno estoque de nutrientes nos seringaais resulta, na verdade, da baixa produtividade e do conseqüente pequeno acúmulo de matéria orgânica na serrapilheira. O RRIM 600 destacou-se como um clone que contribui com maior quantidade de matéria orgânica e de nutrientes para o solo.

Conclui-se, assim, que a fertilidade do solo nos plantios de seringueira do clone IAN 873 e RRIM 600 está relacionada com a qualidade nutricional da serrapilheira. A maior quantidade de material foliar acumulada nos horizontes holorgânicos na área com o clone RRIM 600, bem como o maior teor e quantidade de nutrientes na serrapilheira, promovem a maior fertilidade do solo sob esse clone, evidenciando sua superioridade em reconstituir a riqueza nutricional do solo.

CARBONO ESTOCADO NO SOLO SOBRE OS SERINGAIS

O solo é considerado como o maior reservatório terrestre de carbono, e pode atuar como uma fonte ou um depósito de CO_2 para a atmosfera, dependendo do sistema de manejo adotado (BAYER; MIELNICZUK, 2001). As plantas, através da fotossíntese, são o elo entre o carbono que se encontra na atmosfera e o que se encontra no solo na forma de matéria orgânica. Dependendo das práticas agrícolas que são utilizadas, o solo irá agir como um dreno ou como uma fonte de CO_2 para a atmosfera (AMADO, 2003).

Segundo Lal (1999 apud SILVA; MACHADO, 2000), a magnitude e a taxa de diminuição de carbono do solo é aumentada

pela degradação e declínio da qualidade do solo. Entre os principais processos de degradação do solo, poderiam ser citados: degradação física e degradação biológica. Existe, todavia, um grande potencial em reverter esses processos de degradação e, ao mesmo tempo, aumentar o seqüestro de carbono no solo. Para isso, é necessário manejá-lo adequadamente, corrigir problemas de acidez e aplicar fertilizantes, de forma correta. Assim, haverá sempre ganhos em produtividade das culturas.

Emissões de CO_2 associadas ao preparo do solo

Um dos processos-chave para a adição de carbono ao solo é a fotossíntese, na qual o CO_2 é combinado com água, utilizando a energia solar para formar carboidratos. O carbono acumulado nas plantas é ciclado no ecossistema terrestre sendo uma parte armazenada temporariamente no solo na forma de matéria orgânica (MO), da qual é o principal constituinte com 58% (REICOSKY, 1999 apud AMADO, 2003) (Fig. 1). As atividades de preparo podem estimular a mineralização da MO e a liberação de CO_2 que se encontrava nos poros, reduzindo a permanência do carbono no solo (BRUCE et al., 1999; REICOSKY; LINDNSTOM, 1993 apud AMADO, 2003). Clima, vegetação, topografia e tipo de solo irão condicionar o tamanho do estoque de carbono que será armazenado no solo. Segundo Silva e Machado (2000), há uma maior preservação da matéria orgânica, de modo geral, em áreas sob vegetação natural, havendo perdas consideráveis de carbono, quando essas são convertidas em área de cultivo.

No caso de plantios de seringueiras, principalmente em áreas acidentadas, não há revolvimento do solo com a muda plantada diretamente na cova, o que permite a manutenção da matéria orgânica do solo. Rios et al. (2006) conduziram um estudo com a finalidade de quantificar o efeito do manejo na matéria orgânica e seus componentes – substâncias húmicas – do so-

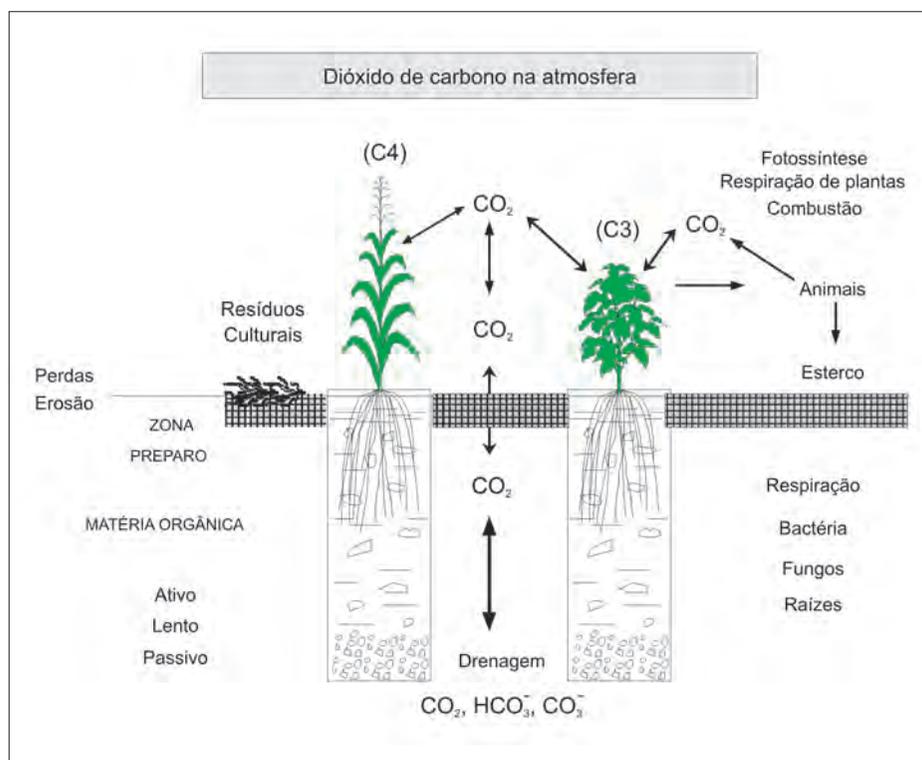


Figura 1 - Esquema do ciclo do carbono em agroecossistemas

FONTE: Reicosky (1998 apud AMADO, 2003).

lo sob cultivo dos clones de seringueira IAN 873 e RRIM 600, com 20 e 15 anos de idade, respectivamente. Esses autores verificaram que os clones de seringueira RRIM 600 e IAN 873 estocaram respectivamente, 40,0 e 51,7 Mg C/ha, causando impactos diferenciados na acumulação de matéria orgânica e na distribuição das frações húmicas, principalmente, nos horizontes superficiais. E ainda, que os solos sob o clone RRIM 600 apresentaram um estado de humificação maior que os sob o clone IAN 873, indicando maior acúmulo de carbono orgânico e, por conseguinte, de matéria orgânica.

CARBONO ESTOCADO NA BORRACHA NATURAL

Segundo Esah (1990), 90% da composição de borracha natural crua é constituída de carbono. Assim, por meio de estimativa da produção média de borracha no Brasil, foram encontrados os seguintes resultados: a quantidade média total de borracha seca produzida por um hectare de seringueira, em 30 anos, é de 45 toneladas, sendo 40

toneladas constituídas de carbono. A taxa anual de carbono orgânico acumulado pelo clone IAN 873 é de 3,7 Mg/ha e do clone RRIM 600 é de 4,9 Mg/ha. Conclui-se que o total de carbono seqüestrado na biomassa da madeira e borracha produzida por um hectare de seringueiras do clone IAN 873, com 20 anos, e do clone RRIM 600, com 15 anos, é de cerca de 114 Mg/ha.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além dos benefícios sociais e econômicos que plantios de seringueira podem proporcionar a pequenos e médios produtores, a espécie apresenta-se como eficiente seqüestradora de carbono, podendo gerar receita para o País por meio do mercado de créditos de carbono, já que se trata de um cultivo perfeitamente sustentável e enquadrado nos critérios de elegibilidade do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Tratado de Quioto. Dentre os seringais estudados, o clone RRIM 600 mostrou-se o mais eficiente em acumular carbono.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agricultural, Ecosystems and Environment*, v. 99, n.1, p. 15-27, 2003.
- AMADO, T.J.C. **A matéria orgânica do solo no sistema de plantio direto: a experiência do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <<http://www.ppi-far.org>>. Acesso em: 7 nov. 2003.
- ANDRADE, A.G. de; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serrapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em planossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v.24, n.4, p.777-785, 2000.
- ; TAVARES, S.R. de L.; COUTINHO, H.L. da C. Contribuição da serrapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. *Informe Agropecuário*. Agroecologia, Belo Horizonte, v.24, n.220, p.55-63, 2003.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. p.9-26.
- BALIERO, F. de C.; FRANCO, A. A.; PEREIRA, M. G.; CAMPELO, E. F. C.; DIAS, L.E.; FARIA, S.M. de; ALVES, B.J.R. Dinâmica da serrapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n.6, p. 597-601, jun. 2004.
- CARMO, C.A.F.S. do; MANZATTO, C.V.; ALVARENGA, A. de P.; TOSTO, S.G.; LIMA, J.A. de S.; KINDEL, A.; MENEGUELLI, N.A. Biomassa e estoque de carbono em seringais implantados na Zona da Mata de Minas Gerais. In: ALVARENGA, A. de P.; CARMO, C.A.F. de S. do (Ed.). **Seqüestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural.** Viçosa, MG: UFMG/Embrapa Solos/EPAMIG, 2006. p.77-109.
- CASTRO, C.F. de A. **Distribuição da fitomassa acima do solo e nutrientes em talhões de pinus Oocarpa Shiede plantados no estado de São Paulo.** 1984. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

- CORNISH, K. Biochemistry of natural rubber, a vital raw material, emphasizing biosynthetic rate, molecular weight and compartmentalization, in evolutionarily divergent plant species. **Natural Product Reports**, v.18, p.182-189, 2001.
- COSTA, R. B.; GONÇALVES, P. de S.; RÍMOLI, A. O.; ARRUDA, E. J. Melhoramento e conservação genética aplicados ao desenvolvimento local: o caso da seringueira (*Hevea sp.*). **Interações: Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v.1, n.2, p.51-58, 2000.
- ESAH, Y. Clonal characterization of latex and rubber properties. **Journal of Natural Rubber Research**, Kuala Lumpur, v. 5, n. 1, p. 52-80, 1990.
- GONÇALVES, P. de S.; BATAGLIA, O. C.; ORTOLANI, A.A.; FONSECA, F. da S. **Manual de heveicultura para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2001. 78p.
- HAAG, P. H.; VIÉGAS, I. de J. M. Crescimento e extração de nutrientes da seringueira. In: VIÉGAS, I. de J.M.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Seringueira: nutrição e adubação no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/ Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p.77-121.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n.2, p. 153-166, 1998.
- HOUGHTON, R.A. Forests and the tropical carbon cycle: current storage and emissions. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂ UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 15-37.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Tercer informe de evaluación cambio climático 2001 – impactos, adaptación y vulnerabilidad**: resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Geneva, 2001. 93p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg2s.pdf>>. Acesso em: 4 fev. 2005.
- JACOVINE, L.A.G.; FERNANDES, T.J.G.; SOARES, C.P.B.; SILVA, M.L. da; ALVARENGA, A. de P. A heveicultura e a geração dos certificados de emissões reduzidas. In: ALVARENGA, A. de P.; CARMO, C.A.F. de S. do (Ed.). **Seqüestro de carbono**: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG: UFMG/Embrapa Solos/EPAMIG, 2006. p. 315-538.
- KINDEL, A.; CARMO, C.A.F.S. do; LIMA, J.A.S.; SIMÕES, B.; ALVARENGA, A. de P.; PÉREZ, D.V. Ciclagem de nutrientes e estoque de carbono na serrapilheira de seringais e fragmentos da Mata Atlântica. In: ALVARENGA, A. de P.; CARMO, C.A.F. de S. do (Ed.). **Seqüestro de carbono**: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG: UFMG/Embrapa Solos/EPAMIG, 2006. p. 135-158.
- LIMA, J.A.S.; CARMO, C.A.F. de S. do; KINDEL, A.; MOTTA, P.E.F. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono de uma floresta secundária em Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 18p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 20).
- ; KINDEL, A.; CARMO, C.A.S.F.; MOTTA, P.E.F. **Estrutura e diversidade florística de uma floresta secundária de Oratórios, Zona da Mata de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 31).
- MARTINEZ, C. B. Efeitos do aumento de CO₂ atmosférico no crescimento das plantas. **Ação Ambiental**, Viçosa, MG, ano 4, n.21, p.16-19, 2001.
- MORAIS, E.J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1988. 56f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.
- MURBACH, M. R.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; SOUZA, E.C.A. Nutrient cycling in a RRIM 600 clone rubber plantation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n.2, p.353-357, abr./jun. 2003.
- PEREIRA, J. P.; RAMOS, A. L. M. Culturas intercalares e alternativas de renda para a cultura da seringueira. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE A HEVEICULTURA PAULISTA, 4., 2004, Bebedouro, SP. [Palestra]... Bebedouro: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 2004. 18p.
- POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus**: implicações silviculturais. 1985. 29p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- RAHAMAN, W.A.; SIVAKUMARAN, S. Studies of carbon sequestration in rubber. In: RUBBER FORUM, 1998, Bali, Indonésia. [Proceedings]... Geneve: UNCTAD/IRSC, 1998. 17p.
- REIS, M. das G.F.; BARROS, N.F. de; KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill. (ex-Maiden) plantado no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.11, n.1, p. 1-15, jan./jun. 1987.
- RIOS, L. da C.; CONCEIÇÃO, M. da; PÉREZ, D.V.; ARAÚJO, W.S. de. Estoque de carbono e caracterização de substâncias húmicas em solos sob seringais cultivados e vegetação natural. In: ALVARENGA, A. de P.; CARMO, C. A. F. de S. do (Ed.). **Seqüestro de carbono**: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG: UFMG/Embrapa Solos/EPAMIG, 2006. p.159-178.
- SALATI, E. Emissão x seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂ - UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 15-37.
- SCARPINELLA, G.A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Kioto**. 2002. 182f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1., 1996, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996. p. 65-77.
- ; WITSCHORECK, R.; CALDEIRA, M. V.W.E.; WATZLAWICK, L. F. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L e *Acácia mearnsii* de wild. plantadas no Estado do Rio Grande do Sul-Brasil. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B.; GOMES, F. dos S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. 264p.
- SILVA, C.A.; MACHADO P.L.O. de A. **Seqüestro e emissão de carbono em ecossistema agrícolas**: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 23p. (Embrapa Solos. Documentos, 19).