

ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMAS CAFEIROS A PLENO SOL E CULTIVADO COM MACADÂMIA NO SUL DE MINAS GERAIS, BRASIL¹

Priscila Pereira Coltri², Camila Lazarim³, Rodrigo Dias⁴, Jurandir Zullo Junior⁵, Hilton Silveira Pinto⁵

¹Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/Café com Apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq);

²Doutoranda, Msc, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), Campinas-SP, pcoltri@cpa.unicamp.br

³Mestranda, Bacharel, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), Campinas-SP, camila@cpa.unicamp.br

⁴Graduação em Matemática, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, rodrigo.dias@cpa.unicamp.br

⁵Pesquisador, Dr, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), Campinas-SP, jurandir@cpa.unicamp.br

⁶Professor, Dr, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), Campinas-SP, hilton@cpa.unicamp.br

RESUMO: O aumento da temperatura observada no século 20 tem sido causado pela elevação da concentração dos gases de efeito estufa (GEE) resultante da intensificação das atividades antropogênicas como combustíveis fósseis e desmatamento. Se as temperaturas continuarem aumentando como consequência das mudanças climáticas, a cultura do café arábica poderá sofrer uma reconfiguração geográfica na produção. De acordo com o protocolo de Kyoto, uma das atividades de mitigação é a preservação dos “sumidouros de carbono”, e a agricultura brasileira pode ser uma atividade de destaque, pois possui duas das maiores fontes de estoque de carbono: o solo e a planta. Assim, embora a atividade agrícola seja responsável por parte da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), também poderá ser responsável por reduzir o problema, estocando carbono. O objetivo do presente trabalho foi quantificar a contribuição de sistemas cafeeiros (arborizado com Macadâmia e a pleno sol) para o incremento de sequestro de carbono acima do solo. Além disso, o trabalho teve como objetivo fazer uma relação empírica entre dados biofísicos do café arábica e a biomassa úmida. O sistema de cultivo de café a pleno sol estocou, em média, 10,38 tonC.ha⁻¹ e o sistema arborizado 12,55 tonC.ha⁻¹. Sistemas cafeeiros arborizados e não-arborizados podem estocar carbono ao longo dos anos e reduzir a quantidade de CO₂ atmosférico. Esses sistemas podem ser uma forma de mitigação dos GEEs.

Palavras-Chave: Mudanças Climáticas, Estoque de Carbono, Café Arborizado

CARBON STOCK IN COFFEE SYSTEM PLANTED IN FULL SUN AND SHADED WITH MACADAMIA IN IN SOUTHERN MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT: Most of the observed temperature increase since the middle of the 20th century has been caused by increasing concentrations of greenhouse gases, which result from human activities such as the burning of fossil fuel and deforestation. If temperatures rise as consequence of climate change, coffee crop could suffer geographical reconfiguration of its cultivation. According to the Kyoto Protocol, one of the mitigation's activities is the "carbon sinks preservation" and Brazilian agriculture can be an important activity because it has two of the largest sources of carbon stocks: the soil and the plant. Thus, although the agricultural systems is responsible for part of emission of greenhouse gases (GHGs), also may be responsible for reducing this problem, stocking carbon. This study aims to quantify the contribution of coffee systems (shaded with Macadamia and full sun system) for carbon sequestration above ground. In addition, the study aimed to establish an empirically relationship between Coffee's biophysical data and wet biomass. The full sun coffee system cultivation stocked in average 10.38 tonC.ha⁻¹ and the shaded system stocked 12.55 tonC.ha⁻¹. The study concludes that full sun and shaded coffee systems can stock carbon over the years and reduce the amount of atmospheric carbon. These agriculture systems can be useful to mitigate GHG.

Key words: Climate Changes, Carbon Stock and Shaded Coffee System.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o tema “mudanças climáticas globais” tem despertado a atenção de diversos segmentos da sociedade e da comunidade científica. A elevação da concentração dos gases de efeito estufa (GEE), resultante da intensificação das atividades antropogênicas, tem causado alterações significativas no clima (IPCC, 2007), e um dos principais resultados desse fato é o aumento da temperatura do planeta. A temperatura da superfície terrestre aumentou aproximadamente 0,2°C por década nos últimos 30 anos e 0,8°C no século passado (IPCC, 2007). Ao final desse século, a expectativa traçada nos cenários do IPCC é para elevação da ordem de 1,4°C, no cenário mais otimista, a

5,8°C, no caso mais pessimista. O relatório do IPCC (2007) aponta, ainda, a possibilidade de valores extremos de aumento de temperatura, de 1,1°C a 6,4°C, com média de 4°C nos próximos 100 anos.

Diante dessa nova perspectiva climática, Pinto *et al* (2008) realizaram um estudo das principais culturas agrícolas nos novos cenários possíveis e concluíram que o aquecimento global poderá colocar em risco a produção agrícola na Brasil, caso nenhuma medida mitigadora seja realizada. Dentre as culturas que poderão ser prejudicadas, o café arábica foi um dos destaques.

O café foi cultivado, em 2006, por cerca de 2,3 milhões de hectares, com uma produção de 2,57 milhões de toneladas (IBGE, 2006). Minas Gerais é o maior produtor de café do país (51,5% da safra nacional), seguido do Espírito Santo (21,4% da safra) (Pinto *et al.*, 2008). O valor da produção atingiu R\$ 9 bilhões, 20% superior à safra de 2005, fazendo do Brasil o principal produtor e exportador oficial do grão.

Das culturas estudadas por Pinto *et al.* (2008), o café é a que mais claramente poderá ter uma reconfiguração geográfica com as mudanças climáticas, apesar de sua importância no Brasil. O estudo demonstra que a cultura poderá sofrer com aumento da deficiência hídrica e/ou das temperaturas nas regiões onde a planta é cultivada tradicionalmente, fazendo com que migre para locais que são, atualmente, mais frios, como o sul do país. Em um primeiro momento (2020), os autores descrevem que a queda da área de baixo risco climático poderá não ser muito brusca no cenário otimista, 6,75%, mas, em 2050, o total de áreas com baixo risco poderá diminuir 18,3%, chegando a 27,6% em 2070. Em bases financeiras, o aquecimento global, segundo o mesmo estudo, poderá trazer prejuízos da ordem de R\$628,5 milhões em 2020, R\$1,7 bilhão em 2050 e R\$2,55 bilhões em 2070. No cenário pessimista, a redução da área de baixo risco climático começaria com 9,48% em 2020, subindo para 17,1% em 2050 e chegando a 33% em 2070. Isso poderá representar um prejuízo de, respectivamente, R\$882 milhões, R\$1,6 bilhão e R\$ 3bilhões. Os autores do trabalho também ressaltam que esse cenário de nova geografia de produção só deverá acontecer se nada for feito em termos de adaptação e mitigação da cultura diante das mudanças climáticas.

Uma das formas de mitigação, segundo o protocolo de Kyoto, é a preservação dos chamados “sumidouros de carbono”, ou seja, locais que podem retirar carbono da atmosfera. Nesse sentido, a agricultura brasileira poderá ser uma atividade de destaque, pois possui duas das três maiores fontes de estoque de carbono: o solo e a planta. Assim, embora a atividade agrícola seja responsável por parte da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), também poderá ser responsável por reduzir esse problema, mitigando parte do excesso de gás carbônico do ambiente.

Em linhas gerais, as medições de carbono têm duas alternativas principais: a) Amostragem direta - destrutiva com derrubada da vegetação; ou b) Indireta - utilização de equações alométricas, propostas com base nos dados da composição florística, no mapeamento da vegetação e na extrapolação de dados (Cerqueira e Rocha, 2007). Em áreas florestais, Salati (1994) ressalta que os métodos indiretos são utilizados para estimar a biomassa de áreas de grande extensão e, dependendo das informações disponíveis, são usadas relações empíricas entre a biomassa e algumas outras variáveis, determinando-se, assim, o valor da biomassa seca por hectare, para então ser feita uma extrapolação para a área total considerada (Balbinot *et al.*, 2008). O autor ainda comenta que as variáveis comumente disponíveis nos inventários florestais são o diâmetro à altura do peito, a altura e o volume, as quais são relacionadas, de alguma forma, com a biomassa. Para diversas culturas agrícolas, na maioria das vezes, a falta de relações empíricas entre variáveis biofísicas e a biomassa faz com que essa quantificação siga o protocolo da amostragem direta, que exige áreas amostrais representativas, além de ser altamente onerosa. Balbinot *et al* (2008) também ressaltam que os métodos indiretos obviamente não podem ser utilizados sem o ajuste e a calibragem prévia das equações e, portanto, devem ser empregados em conjunto com os métodos diretos. Para Sanquetta (2002), quando do ajuste de equações, deve-se ter sempre o cuidado de avaliar com objetividade as melhores equações, por meio das estatísticas indicadoras de qualidade de ajuste.

O objetivo do presente trabalho foi determinar a contribuição de sistemas cafeeiros (arborizado com Macadâmia e a pleno sol) para o incremento de sequestro de carbono acima do solo, comparando com dados de literatura de florestas primárias e capoeira. Além disso, o trabalho teve como objetivo fazer uma relação empírica, através de regressão linear múltipla, entre dados biofísicos do café arábica e biomassa úmida.

MATERIAL E MÉTODOS

A. Área de Estudo

O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho distroférrico (LVd), na Fazenda Experimental da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), em São Sebastião do Paraíso, sul de Minas Gerais, numa altitude de 991 m, latitude 20°55'S e longitude 46°55'W. As culturas foram implantadas em 1999. O município apresenta precipitação pluvial anual média de 1.470 mm distribuídas de outubro a abril, e temperatura média anual de 20,8°C.

Para a realização do trabalho foram utilizados dois tratamentos:

- 1) Café a pleno sol (monocultivo): PS e
- 2) Café arborizado pela cultura da Macadâmia (ARBO).

O café arábica, cultivar Catuaí IAC 99, está plantado no espaçamento de 3,5 por 0,7 metros, totalizando 4.081 plantas por hectare. No tratamento ARBO, o café, plantado no mesmo espaçamento do pleno sol, totaliza 3.775 plantas de café por hectare, e as árvores de Macadâmia, que estão plantadas nas linhas do café, com o espaçamento de 5 por 3,5 metros, totalizam 666 plantas por hectare.

B. Estimativa do estoque de carbono na vegetação

Em cada tratamento, foram selecionados, de forma aleatória, seis exemplares de plantas de café e mediu-se, em cada um deles, os seguintes parâmetros biofísicos: altura da planta (h), diâmetro do tronco (dt), diâmetro da copa (dc) e índice de área foliar (IAF). O índice de área foliar (IAF) foi medido com o aparelho LAI-2000.

Para o cálculo da biomassa e do estoque de carbono do café arábica, utilizou-se o método destrutivo de amostragem direta. Retirou-se os seis exemplares de café já medidos, de cada tratamento. As plantas amostradas foram separadas em folhas, ramos, tronco e fruto e pesados frescos. Em seguida, amostras de cada parte foram secas em estufa com circulação forçada, a 105°C até peso constante. O estoque de carbono na biomassa da vegetação foi estimado de duas maneiras: considerando-se que 50% da biomassa seca do café seja constituído de carbono (IPCC, 2006) e através de análises químicas de carbono no material vegetal.

Para tanto, cada parte do material vegetal seco (folhas, ramos, tronco e fruto) foi moído e, através do aparelho LECO CR – 412, no laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP), foi determinada a porcentagem de carbono em cada parte do material. Para a determinação da biomassa nas plantas de arborização, foram utilizadas as equações alométricas descritas por Andrade e Ibrahim (2003). Para tanto, foram escolhidas, aleatoriamente, dez plantas de Macadâmia e foi medido o DAP (diâmetro a altura do peito) e a altura (h). O carbono foi estimado considerando-se que 50% da biomassa seca das árvores seja constituída de carbono (IPCC, 2006).

C. Análise estatística

A fim de elaborar uma equação para cálculo de biomassa do café sem necessidade de análises destrutivas nessa área, utilizou-se dados das medições biofísicas e da biomassa úmida para uma regressão multivariável. As análises estatísticas foram realizadas no software SAS. A diferença estatística entre o estoque de carbono do tratamento arborizado em relação ao pleno sol foi realizado através do teste estatístico não paramétrico MANN-WITHNEY.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise destrutiva do café, verificou-se que as plantas de café do tratamento pleno sol (PS) têm, em média, 12,84kg de biomassa úmida por planta. Já, as plantas cultivadas no sistema arborizado, com Macadâmia, apresentam, em média, 14,061kg de biomassa úmida por planta. Através do teste estatístico MANN-WITHNEY, foi possível verificar que as amostras são diferentes ao nível de 5%, demonstrando que as plantas cultivadas no sistema arborizado com Macadâmia, apresentaram maior quantidade de biomassa úmida que as cultivadas em pleno sol. Essa diferença deveu-se, principalmente, à altura das plantas (h) e ao diâmetro da copa (dc). As plantas de café do sistema cultivado com Macadâmia apresentaram, em média, 0,7 metros a mais de altura, quando comparadas ao pleno sol. O diâmetro da copa das plantas arborizadas também foram, em média, 0,75 metros, maiores que o pleno sol. As demais variáveis biofísicas (IAF e diâmetro do tronco), não diferiram estatisticamente.

Após a secagem em estufa com circulação forçada a 105°C, foi possível verificar que entre 44 e 64% da biomassa úmida do café arábica plantado a pleno sol é composta de água. Já no café arábica cultivado com Macadâmia, essa porcentagem sobe para valores entre 56,7 e 62%. A correlação entre a biomassa úmida e seca pode ser observada na Figura 1. Ambos os tratamentos apresentaram uma regressão polinomial.

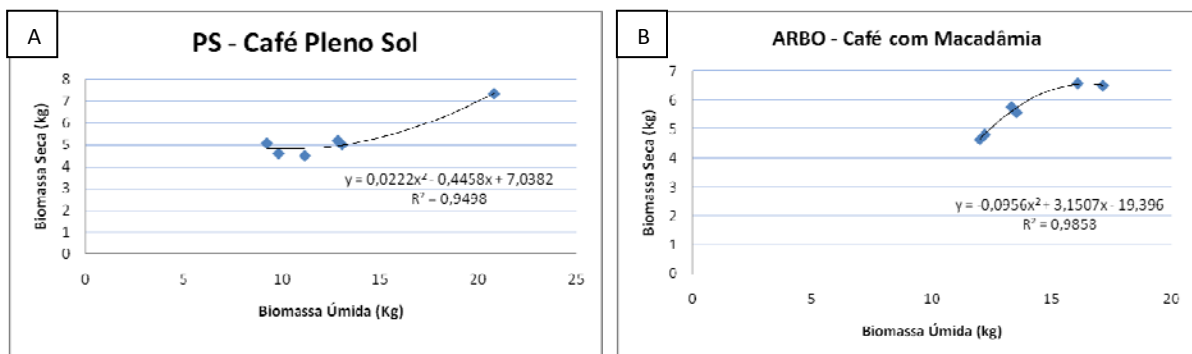


Figura 1 – Correlação entre Biomassa úmida e seca do café arábica cultivado nos sistemas a pleno sol (A) e arborizado com Macadâmia (B).

O café plantado no sistema a pleno sol apresentou, em média, 5,09kg de biomassa seca por planta. Já as plantas de café cultivadas com a cultura da Macadâmia (ARBO) apresentaram, em média, 5,65kg de biomassa seca. Do peso total da biomassa das plantas de café cultivadas a pleno sol, em média, 24,06% foi composto por folhas, 21,16% de frutos; 26,80% de ramos e 27,98% de tronco. Já as plantas cultivadas no sistema ARBO (com Macadâmia) apresentaram menor quantidade de folhas e frutos, mas maior peso em tronco e ramos, quando comparados ao sistema PS, conforme Figura 2. Do total da biomassa do café arborizado, em média, 18,82% foi constituído de folhas, 17,93%

de frutos, 27,11% de ramos e 36,13% de tronco. Dados semelhantes de proporção de folhas e troncos em plantas de café sombreadas foram encontrados por Segura *et al.* (2006).

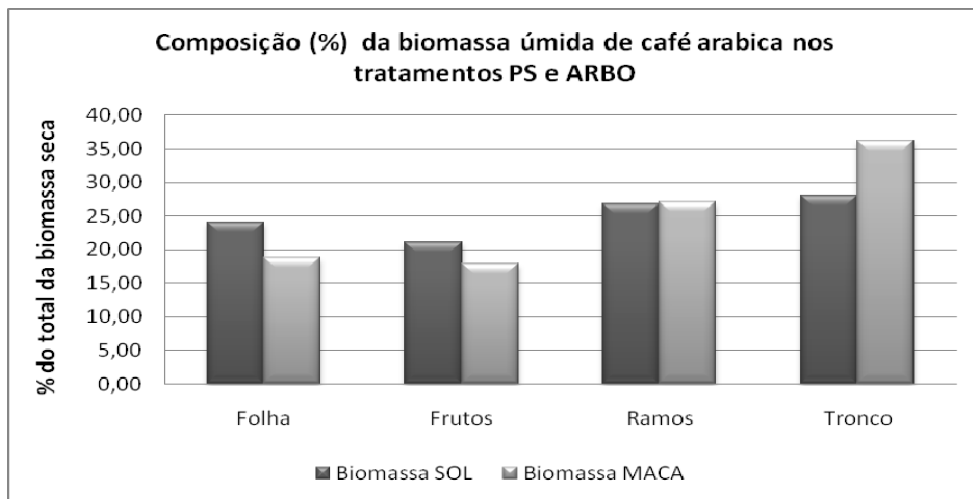


Figura 2- Composição da biomassa úmida, em porcentagem, das plantas de café cultivadas a pleno sol (cinza escuro) e arborizadas com Macadâmia (cinza claro).

As análises químicas realizadas no LECO CR-412 demonstraram que, entre 49% e 50% da biomassa seca da planta de café (folha, ramos, tronco e fruto), é formado por carbono, corroborando com os dados do IPCC (2006). Assim, no trabalho, considerou-se que 50% da biomassa seca é formada de carbono.

As plantas de café no sistema a pleno sol estocaram, em média, 10,38 tonC.ha⁻¹. Já as plantas de café do tratamento ARBO estocaram, em média, 10,65 tonC.ha⁻¹. As plantas de Macadâmia estocaram, em média, 1,9 tonC.ha⁻¹. Assim, o tratamento ARBO estocou, em média 12,55tonC.ha⁻¹, aproximadamente duas toneladas a mais que o tratamento PS. A quantidade de estoque de carbono, por parte da planta de café, em cada tratamento, pode ser visualizada na Tabela 1.

	Café Tratamento Pleno Sol		Café Tratamento Macadâmia	
	Peso Seco (kg)/planta	Carbono (kg)/planta	Peso Seco (kg)/planta	Carbono (kg)/planta
Folhas	1,21	0,60	1,07	0,54
Frutos	1,19	0,59	1,00	0,50
Ramos	1,32	0,66	1,54	0,77
Tronco	1,37	0,69	2,03	1,02
Total	5,09	2,55	5,65	2,83

Tabela 1 – Quantidade em kg de carbono estocado em cada parte da planta de café nos tratamentos Pleno Sol e arborizado com Macadâmia.

Segundo Rodrigues *et al* (2000), uma floresta primária em Rondônia acumula, em média, 148 tonC.ha⁻¹ e, uma capoeira natural em regeneração de 5 anos, estoca, em média, 11,2 tonC.ha⁻¹. Verifica-se que os dados de café a pleno sol com idade de dez anos estocam o equivalente a 7% do que estoca uma floresta primária e 93% de uma área de capoeira em regeneração. O sistema arborizado de café com Macadâmia de dez anos estoca 8,5% do que estoca uma floresta primária e 12% a mais do que estoca uma área de capoeira em regeneração. Resultados semelhantes foram encontrados por Rodrigues *et al* (2000) em Rondônia com café cultivado a pleno sol e café arborizado com bandarra e por Katto-Same *at al* (1997) em sistemas agroflorestais de cacau. Assim, é possível verificar que sistemas cafeeiros arborizados e não arborizados são capazes de reduzir o CO₂ da atmosfera, capturando e estocando-o em sua biomassa. Os sistemas arborizados, além de sequestrarem maior quantidade de carbono, podem representar uma oportunidade para o setor cafeeiro comercializar créditos de carbono florestal.

A partir dos dados biofísicos coletados em campo, foi possível fazer uma análise de regressão múltipla para cálculo da biomassa úmida do café plantado pleno sol e arborizado. As equações ajustadas encontradas são:

Café Pleno Sol:

$$y = A0 + A1 \cdot x1 + A2 \cdot x2 + A3 \cdot x3 + A4 \cdot x4$$

Sendo: **A1**- Altura da Planta em metros (h); **A2** – Índice de Área Foliar (IAF); **A3**- Diâmetro do tronco (dt) em metros e, **A4** – Diâmetro da copa (dc) em metros.

Parâmetros da Equação	
A0	-30,33796
x1	35,84417
x2	-2,90639
x3	-24,71786
x4	0,35797

O teste estatístico de correlação entre os dados reais de biomassa úmida e os dados estimados foi significativo, com $r^2 = 0,77$.

Café Arborizado com Macadâmia

$$y = A0 + A1 \cdot x1 + A2 \cdot x2 + A3 \cdot x3 + A4 \cdot x4$$

Sendo: **A1**- Diâmetro do Tronco (dt) em metros; **A2** – Altura em metros (h); **A3**- Índice de área Foliar (IAF); **A4** – Diâmetro da copa, em metros.

Parâmetros da Equação	
A0	8,94415
x1	80,48169
x2	3,82467
x3	-0,77203
x4	-6,79606

O teste estatístico de correlação entre os dados reais de biomassa úmida e os dados estimados foi significativo, com $r^2 = 0,76$.

As equações são uma primeira tentativa de ajuste de parâmetros biofísicos do café arábica para estimar a biomassa da cultura. O prosseguimento dos estudos sobre o ajuste de equações e a formulação de equações alométricas para a cultura do café arábica facilitará, em futuro breve, as estimativas de biomassa e do carbono fixado, realizadas para projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Kyoto, direcionados para cafeicultura.

CONCLUSÕES

Foi possível concluir que as plantas de café do sistema arborizado com Macadâmia apresentaram maior quantidade de biomassa úmida e seca quando comparadas ao sistema a Pleno Sol. O café arborizado apresentou plantas com maior altura e maior diâmetro de copa, mas menor quantidade de frutos e folhas. Essas diferenças biofísicas interferem diretamente na quantidade de carbono estocado pela cultura: no sistema de cultivo de café a pleno sol, a quantidade de carbono estocada acima nas plantas de café foi de 10,38 tonC.ha⁻¹ e, no sistema arborizado, de 10,65 tonC.ha⁻¹. Adicionando a quantidade de carbono estocada pelas plantas de Macadâmia no sistema arborizado, verifica-se que este estoca quase 2 ton a mais de carbono que o sistema a pleno sol. Sistemas cafeeiros arborizados e não arborizados podem estocar carbono ao longo dos anos e reduzir a quantidade de CO₂ atmosférico. Esses sistemas são uma forma de mitigação dos GEEs. Os sistemas estudados estocam cerca de 7% e 8,5% do Carbono contido numa floresta primária, e 93% e 112% do total de Carbono contido em uma área de regeneração de capoeira de cinco anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALBINOT, R., KOEHLER, H., WATZLAWICK, L., MARCENE, E.. AJUSTE DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. UTILIZANDO ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS CONJUNTAMENTE COM ANÁLISE DE REGRESSÃO. **FLORESTA**, América do Norte, 39, jun. 2009. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/14148/9774>. Acesso em: 08 Abr. 2011.
- PINTO, H.S.; ASSAD, E.D. 2008 et al (Online). Aquecimento Global e a Nova Geografia de Produção Agrícola no Brasil. Homepage: <<http://www.agritempo.gov.br>>, consultado em 02 de janeiro de 2010.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2006) (Online) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Homepage: <<http://www.ipcc.ch>>
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007) (Online). Contribution of Working groupe I to the Fourth Assesment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. Homepage: www.ipcc.ch

- SALATI, E. Emissão x sequestro 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. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p.15-37.
- SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: As Florestas e o carbono. SANQUETTA, C. R. (Ed.). Curitiba, 2002. p.119-140.
- SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V.; MELLO, A. A. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de Araucária angustifolia e Pinus taeda no sul do estado do Paraná, Brasil. Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais, Curitiba, v. 1, n. 3, p.33-40, jul./set. 2003.
- SEGURA, M., KANNINEN, M. SUARÉZ, D. Allometric Models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. Agroforestry Syst (2006) 68:143-153
- RODRIGUES, V.G.S.; CASTILLA, C.; COSTA, R.C. da; PALM, C. Estoque de carbono em sistema agroflorestal com café em Rondônia – Brasil. In Anais do I Simpósio de Pesquisas do Café do Brasil. Poços de Caldas, MG. Setembro, 2000.
- KATTO-SAME, J.; WOOMER, P.L.; MOUKAM, A.; ZAPFAK, L. Carbon dynamics in slash and burn agriculture and land use alternatives of the humid zone in Camaroon. Agriculture Ecosystems & Environmental (1997) 65:245-256.