



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO EM ESPÉCIES
ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL
DECIDUAL NO RIO GRANDE DO SUL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Flávia Gizele König Brun

Santa Maria, RS, Brasil

2007

**DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO EM ESPÉCIES
ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NO
RIO GRANDE DO SUL**

por

Flávia Gizele König Brun

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Dr. Solon Jonas Longhi

Santa Maria, RS, Brasil

2007

© 2007

Todos os direitos autorais reservados a Flávia Gizele König Brun. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Erly de Almeida Lima, n. 195/401, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-120
Fone (0xx)55 3217-1375; End. Eletr: flaviakonig@mail.ufsm.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO EM ESPÉCIES ARBÓREAS DE
UMA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NO RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por
Flávia Gizele König Brun

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Solon Jonas Longhi, Dr.
(Presidente/Orientador)

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)

Sandro Vaccaro, Dr. (FACEBG)

Santa Maria, 24 de fevereiro de 2007.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de aprofundar meus conhecimentos na área de Ciências Florestais, em especial em Silvicultura.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da cota de bolsa de mestrado, e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro prestado para a realização das coletas de dados a campo e processamento das amostras em laboratório.

Ao orientador, Professor Dr. Solon Jonas Longhi, pela sua atenção, amizade e orientação durante todo o período de realização do trabalho, e também aos Professores Dr. Mauro Valdir Schumacher e Dr. Juarez Martins Hoppe (in memorian) pela amizade e apoio.

Aos Engenheiros Florestais Dr. Sandro Vaccaro e Cristiano Horbach Prass, que cederam gentilmente os dados de crescimento dos indivíduos arbóreos da área de estudo para que se pudesse concluir com êxito o presente trabalho.

À Engenheira Florestal M.Sc. Francine Neves Calil, pelo auxílio e correção gramatical em língua estrangeira.

Aos acadêmicos do curso de Engenharia Florestal Cristiane Roppa, Luiz Thiago Brondani Greff, Joabel Barbieri, Lucas Zancan Pissinin, Márcio Viera e Darlan Michel Bonacina, pelo auxílio prestado no processamento das amostras, mas principalmente pela amizade.

Aos meus pais Clóvis e Cleusa Lenir König, e a minha irmã Karine Josieli König pela amizade, carinho, compreensão e incentivo.

Ao meu esposo, Eleandro José Brun pelo apoio, às críticas e sugestões técnicas do trabalho, mas principalmente pelo seu incentivo, compreensão e carinho em mais esta etapa tão importante de minha jornada.

A todos muito obrigada.

RESUMO

DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO EM ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NO RIO GRANDE DO SUL

Autora: Flávia Gizele König Brun
Orientador: Prof. Dr. Solon Jonas Longhi

Estudou-se a dinâmica do carbono orgânico na biomassa acima do solo, de espécies arbóreas componentes de floresta secundária em uma região de Floresta Estacional Decidual, em Santa Tereza, RS. Com base em dados de acúmulo de biomassa, os quais foram coletados através do abate de cinco indivíduos de cada espécie, distribuídos na variação de diâmetros de cada uma das mesmas e segregadas em cinco diferentes frações (folhas, galhos vivos, galhos mortos, casca e madeira) e dos seus respectivos teores de carbono orgânico, obtidos em análise laboratorial; bem como em avaliações de crescimento dos indivíduos arbóreos com Circunferência à Altura do Peito ≥ 10 cm, realizadas nos anos de 1996, 1999 e 2003, em parcelas permanentes, elaborou-se modelos para descrever o acúmulo de carbono para sete espécies arbóreas. Para *Matayba elaeagnoides*, os modelos selecionados para a descrição da quantidade de carbono foram: $C=b0+b1.h_c^2$ (folhas), $C=b0+b1.h_c^2+b2.1/1,3-d$ (galhos mortos), $C=b0+b1.d$ (cascas) e $C=b0+b1.d^2$ (galhos vivos e madeira). Para *Machaerium paraguayense*: $lnC_f=b0+b1.d^2.h_c$ (folhas); $lnC_{gv}=b0+b1.d^2+b2.1/d^2$ (galhos vivos), $C_c=b0+b1.h_i^2$ (cascas) e $C_m=b0+b1.h_i+b2.h_i^2+b3.1/h_i$ (madeira). Para *Trichilia clausenii*: $C=b0+b1.d$ (folhas e cascas), $lnC_{gv}=b0+b1.d$ (galhos vivos) e $lnC_m=b0+b1.1/d^2$ (madeira). Para *Allophilus edulis*: $C_f=b0+b1.d^3$ (folhas), $C_{gv}=b0+b1.d$ (galhos vivos), $C_{gm}=b0+b1.1/h_c^2$ (galhos mortos); $C_c=b0+b1.d^2$ (cascas) e $C_m=b0+b1.d+b2.d^2$ (madeira). Para *Campomanesia xanthocarpa*: $C_f=b0+b1.d^3$ (folhas), $lnC_{gv}=b0+b1.d^2+b2.h_c^2+b3.1/h_c$ (galhos vivos), $lnC_c=b0+b1.1/d^2$ (cascas e madeira). Para *Gymnanthes concolor*: $C_f=b0+b1.d^3$ (folhas), $lnC_{gv}=b0+b1.d^2+b2.1/d^2+b3.1/h_c^2$ (galhos vivos), $C_c=b0+b1.1/d^2$ (cascas) e $C_m=b0+b1.d^2$ (madeira). Para *Trichilia elegans*: $C_f=b0+b1.h_c$ (folhas), $C_{gv}=b0+b1.1/1,3-d+b2.1/1,3-h_c$ (galhos vivos) e $C_m=b0+b1.d^3$ (madeira). Com base nestes modelos, estimou-se o acúmulo final de carbono ($kg\ ha^{-1}$), nas diferentes frações, para *Matayba elaeagnoides* em 6,1; 256,4; 20,0; 203,7; 1389,8 e 1876,0, respectivamente, para folhas, galhos vivos, galhos mortos, casca, madeira e biomassa total. Para *Machaerium paraguayense*, em 1,2; 41,1; 16,5; 143,8 e 202,6, respectivamente, sem ocorrer galhos mortos nesta espécie. Para *Trichilia clausenii*, em 96,8; 192,1; 33,1; 347,6 e 669,6, respectivamente, sem galhos mortos. Para *Allophilus edulis*, em 58,5; 527,2; 78,6; 133,8; 1995,0 e 2793,1, respectivamente. Para *Campomanesia xanthocarpa* em 27,2; 567,6; 55,0; 670,5 e 1320,3, respectivamente, sem galhos mortos. Para *Actinostemon concolor*, em 9,9; 38,2; 5,0; 45,8 e 98,9, respectivamente, sem galhos mortos. Para *Trichilia elegans*, em 24,9; 95,9; 151,4; 471,0 e 743,2, respectivamente, também sem a ocorrência de galhos mortos. As espécies citadas totalizaram, na floresta secundária, $7,7\ Mg\ ha^{-1}$ de carbono na biomassa, com o acúmulo sendo decrescente, da seguinte forma: *Allophilus edulis*, *Matayba elaeagnoides*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Trichilia elegans*, *Trichilia clausenii*, *Machaerium paraguayense* e *Gymnanthes concolor*. As frações componentes da biomassa das espécies estudadas apresentaram acúmulo preferencial de carbono da seguinte forma: madeira>galhos vivos>cascas>folhas>galhos mortos. As espécies que apresentaram maiores teores de carbono nas folhas foram *Matayba elaeagnoides* e *Trichilia clausenii*. Para galhos vivos e mortos foi novamente *Matayba elaeagnoides*. Para casca foi *Trichilia elegans*. Para madeira não ocorreram diferenças estatísticas entre os teores de carbono. O acúmulo de carbono variou muito em função das taxas de ingresso e mortalidade das espécies, no decorrer do período de avaliação, mas também em função do crescimento dos indivíduos e da conseqüente mudança de classe de diâmetro.

Palavras-chave: sucessão florestal, biomassa, crescimento, seqüestro de carbono.

ABSTRACT

ORGANIC CARBON DYNAMICS IN ARBOREOUS SPECIES IN A SEASONAL DECIDUOUS FOREST IN RIO GRANDE DO SUL

Author: Flávia Gizele König Brun
Adviser: Prof. Dr. Solon Jonas Longhi

The carbon fixation potentials from some forest species from Seasonal Deciduous Forest, in Santa Tereza, RS, were studied. Based on the biomass accumulation data, which were sampled through the cut of five individuals of each specie, distributed in the diameter variation from each one and segregated in five different fractions (leaves, live branches, dead branches, bark and wood) and its respective amount of organic carbon, obtained through laboratorial analysis; as well as the in growth evaluations from the arboreous individuals with Circunference at Breast Height ≥ 10 cm, done in 1996, 1999 and 2003, in permanent plots; models were elaborated to describe the carbon accumulation for seven arboreous species. For *Matayba elaeagnoides*, the selected models for carbon amount description were: $C=b0+b1.h_c^2$ (leaves), $C=b0+b1.h_c^2+b2.1/1,3-d$ (branches), $C=b0+b1.d$ (barks) and $C=b0+b1.d^2$ (live branches and wood). For *Machaerium stiptatum*: $lnC_f=b0+b1.d^2.h_c$ (leaves); $lnC_{gv}=b0+b1.d^2+b2.1/d^2$ (live branches), $C_c=b0+b1.h_r^2$ (barks) and $C_m=b0+b1.h_r+b2.h_r^2+b3.1/h_r$ (wood). For *Trichilia clausenii*: $C=b0+b1.d$ (leaves and barks), $lnC_{gv}=b0+b1.d$ (live branches) and $lnC_m=b0+b1.1/d^2$ (wood). For *Allophilus edulis*: $C_f=b0+b1.d^3$ (leaves), $C_{gv}=b0+b1.d$ (live branches), $C_{gm}=b0+b1.1/h_c^2$ (dead branches); $C_c=b0+b1.d^2$ (barks) and $C_m=b0+b1.d+b2.d^2$ (wood). For *Campomanesia xanthocarpa*: $C_f=b0+b1.d^3$ (leaves), $lnC_{gv}=b0+b1.d^2+b2.h_c^2+b3.1/h_c$ (live branches), $lnC=b0+b1.1/d^2$ (barks and wood). For *Gymnanthes concolor*: $C_f=b0+b1.d^3$ (leaves), $lnC_{gv}=b0+b1.d^2+b2.1/d^2+b3.1/h_c^2$ (live branches), $C_c=b0+b1.1/d^2$ (barks) and $C_m=b0+b1.d^2$ (wood). For *Trichilia elegans*: $C_f=b0+b1.h_c$ (leaves), $C_{gv}=b0+b1.1/1,3-d+b2.1/1,3-h_c$ (live branches) and $C_m=b0+b1.d^3$ (wood). Based on these models, the carbon accumulation was estimated ($kg\ ha^{-1}$) in different fractions, for *Matayba elaeagnoides*: 6,1; 256,4; 20,0; 203,7; 1389,8 and 1876,0, respectively, for leaves, live branches, dead branches, bark, wood and total biomass For *Machaerium paraguariense*, in 1,2; 41,1; 16,5; 143,8 and 202,6, respectively, without dead branches in this specie. For *Trichilia clausenii*, in 96,8; 192,1; 33,1; 347,6 and 669,6, respectively, without dead branches. For *Allophilus edulis*, in 58,5; 527,2; 78,6; 133,8; 1995,0 and 2793, 1, respectively. For *Campomanesia xanthocarpa* in 27,2; 567,6; 55,0; 670,5 and 1320,3, respectively, without dead branches. For *Gymnanthes concolor*, in 9,9; 38,2; 5,0; 45,8 and 98,9, respectively, without dead branches. For *Trichilia elegans*, in 24,9; 95,9; 151,4; 471,0 and 743,2, respectively, also without dead branches. The species totalized, in Secondary Forest, 7,7 $Mg\ ha^{-1}$ of carbon in the biomass; the accumulation decreases in the following way: *Allophilus edulis*, *Matayba elaeagnoides*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Trichilia elegans*, *Trichilia clausenii*, *Machaerium paraguariense* and *Gymnanthes concolor*. The biomass fractions that compose the studied species showed a preferential accumulation in the following sequence: wood>live branches>barks>leaves>dead branches. The species that showed the higher amounts of carbon in the leaves were *Matayba elaeagnoides* and *Trichilia clausenii*. For dead and live branches, also *Matayba elaeagnoides*. For bark was *Trichilia elegans*. For wood there were not statistical differences among the amounts of carbon. The carbon accumulation varied a lot in function of the input taxes and also the mortality of the species, during the evaluation period and also as a function of the individuals growth and consequently change in diameter class.

Key-words: forest succession, biomass, growth, carbon sequestration.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Correlação entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de <i>Matayba elaeagnoides</i> (Camboatá-branco) com as variáveis mensuradas. .	40
Tabela 2- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de <i>Matayba eleagnoides</i> , em quilogramas (kg), em função da altura de copa das árvores.	41
Tabela 3- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de <i>Matayba elaeagnoides</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro (DAP) das árvores.	42
Tabela 4- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos mortos por árvore de <i>Matayba elaeagnoides</i> , em quilogramas (kg), em da altura de copa das árvores.	42
Tabela 5- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração casca por árvore de <i>Matayba elaeagnoides</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro (DAP) das árvores..	43
Tabela 6- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore <i>Matayba elaeagnoides</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro (DAP) das árvores.	44
Tabela 7- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para a estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de <i>Matayba elaeagnoides</i> em fase sucessional secundária na Florestal Estacional Decidual, Santa Tereza, RS.	44
Tabela 8- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de <i>Matayba elaeagnoides</i> no período de 1996 a 2003 na Floresta Estacional Decidual, do município de Santa Tereza, RS.	46
Tabela 9- Conteúdo de carbono orgânico estocado (Kg ha^{-1}) nos diferentes compartimentos da biomassa de <i>Matayba eleagnoides</i> em Floresta Estacional Decidual e Floresta Ombrófila Mista.	48
Tabela 10- Correlação entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de <i>Machaerium paraguariense</i> (Canela-do-brejo) com as variáveis mensuradas..	49
Tabela 11- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore <i>Machaerium paraguariense</i> , em quilogramas (kg), em função da altura de copa e diâmetro das árvores.	50

Tabela 12- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de <i>Machaerium paraguariense</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	51
Tabela 13- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de <i>Machaerium paraguariense</i> , em quilogramas (kg), em função da altura total das árvores.	52
Tabela 14- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de <i>Machaerium paraguariense</i> , em quilogramas (kg), em função da altura total das árvores.	52
Tabela 15- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de <i>Machaerium paraguariense</i> (Canela-do-brejo) em fase sucessional secundária em Florestal Estacional Decidual do Município de Santa Tereza, RS.	54
Tabela 16- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de <i>Machaerium paraguariense</i> no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual, do município de Santa Tereza, RS.	56
Tabela 17- Correlação entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de <i>Trichilia clausenii</i> (Catiguá-vermelho) com as variáveis mensuradas. . .	57
Tabela 18- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de <i>Trichilia clausenii</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	58
Tabela 19- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de <i>Trichilia clausenii</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	58
Tabela 20- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de <i>Trichilia clausenii</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	59
Tabela 21- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de <i>Trichilia clausenii</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	60
Tabela 22- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de <i>Trichilia clausenii</i> (Catiguá-vermelho) em fase sucessional secundária em Florestal Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.	60
Tabela 23- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de <i>Trichilia clausenii</i> (Catiguá-vermelho) no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.	62
Tabela 24- Correlação entre as quantidades de carbono observadas nas diferentes frações da biomassa de <i>Allophylus edulis</i> (Chal-chal) com as variáveis mensuradas.	64
Tabela 25- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de <i>Allophylus edulis</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	64
Tabela 26- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de <i>Allophylus edulis</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	65

Tabela 27- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos mortos por árvore de <i>Allophylus edulis</i> , em quilogramas (kg), em função da altura de copa das árvores.	66
Tabela 28- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de <i>Allophylus edulis</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	66
Tabela 29- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de <i>Allophylus edulis</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	67
Tabela 30- Parâmetros estatísticos dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (Kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de <i>Allophylus edulis</i> (Chal-chal) em fase sucessional secundária em Florestal Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.	68
Tabela 31- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de <i>Allophylus edulis</i> no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.	70
Tabela 32- Correlações entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Guabirova) com as variáveis mensuradas. .	71
Tabela 33- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	72
Tabela 34- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> , em quilogramas (kg), em função da altura de copa das árvores.	73
Tabela 35- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	74
Tabela 36- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	74
Tabela 37- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Guabirova) em fase sucessional secundária em Florestal Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.	75
Tabela 38- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.	77
Tabela 39- Correlações entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de <i>Gymnanthes concolor</i> com as variáveis mensuradas.	78
Tabela 40- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de <i>Gymnanthes concolor</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	78
Tabela 41- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de <i>Gymnanthes concolor</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro e da altura de copa das árvores.	79

Tabela 42- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de <i>Gymnanthes concolor</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro e da altura de copa das árvores.	80
Tabela 43- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de <i>Gymnanthes concolor</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	81
Tabela 44- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de <i>Gymnanthes concolor</i> em floresta secundária em Florestal Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.	81
Tabela 45- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de <i>Gymnanthes concolor</i> no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.	83
Tabela 46- Correlações entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de <i>Trichilia elegans</i> com as variáveis mensuradas.	84
Tabela 47- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de <i>Trichilia elegans</i> , em quilogramas (kg), em função da altura de copa das árvores.	85
Tabela 48- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de <i>Trichilia elegans</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro e da altura de copa das árvores.	85
Tabela 49- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração casca por árvore de <i>Trichilia elegans</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.	86
Tabela 50- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de <i>Trichilia elegans</i> , em quilogramas (kg), em função do diâmetro e da altura de copa das árvores.	87
Tabela 51- Modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de <i>Trichilia elegans</i> em fase sucessional secundária em Florestal Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.	87
Tabela 52- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento médio anual de carbono ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de <i>Trichilia elegans</i> no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.	89
Tabela 53- Teor de carbono orgânico (g kg^{-1}) nas diferentes espécies estudadas em seus diferentes compartimentos da biomassa em mata secundária de uma Floresta Estacional Decidual, em Santa Tereza, RS.	90
Tabela 54- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento médio anual de carbono ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa das espécies estudadas no período de 1996 a 2003 na Floresta Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Balanço anual de carbono: emissão e circulação na atmosfera, solo e água (valores em gigatoneladas = 10^9 t).	23
Figura 2- Aspecto geral do município de Santa Tereza, RS, 2004.	27
Figura 3- Localização da área de estudo, em Santa Tereza, RS.	28
Figura 4- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea do <i>Matayba elaeagnoides</i> em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) galhos mortos, D) cascas e E) madeira.	45
Figura 5- Perfil estrutural de um trecho da Floresta Secundária estudada.	48
Figura 6- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea da Canela-do-brejo em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.	55
Figura 7- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de <i>Trichilia clausenii</i> (Catiguá-vermelho) em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.	61
Figura 8- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de <i>Allophylus edulis</i> em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) galhos mortos, D) cascas e E) madeira.	69
Figura 9- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.	76
Figura 10- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de <i>Gymnanthes concolor</i> em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.	82
Figura 11- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de <i>Trichilia elegans</i> em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.	88
Figura 12- Quantidades percentuais de carbono estocadas nos diferentes grupos sucessionais da Floresta Secundária em Santa Tereza, RS.	93

Figura 13- Taxas de ingresso e mortalidade de indivíduos nas espécies estudadas e para a Floresta Secundária com base no grupo de espécies estudadas durante o período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual no Município de Santa Tereza, RS..... 95

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	05
RESUMO	06
ABSTRACT	07
LISTA DE TABELAS	08
LISTA DE FIGURAS	12
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.1.1 Objetivos específicos	17
1.2 Justificativa	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Aspectos da Floresta Estacional Decidual	20
2.2 O ciclo do carbono e as mudanças climáticas	21
2.3 Importância da quantificação do carbono orgânico em Ecossistemas Florestais Nativos	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Descrição do local de estudo	27
3.1.1 Localização	27
3.1.2 Clima	28
3.1.3 Solo	29
3.2 A Floresta Secundária estudada	29
3.2.1 Caracterização geral	29
3.2.2 Aspectos das espécies estudadas	30

3.3 Metodologia específica	35
3.3.1 Avaliações de acúmulo de carbono nas espécies	35
3.3.2 Coleta de biomassa	36
3.3.3 Processamento das amostras	37
3.3.4 Processamento dos dados	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1 Dinâmica do carbono orgânico nas espécies estudadas	40
4.1.1 Acúmulo de carbono em Camboatá-branco (<i>Matayba eleagnoides</i> Radalk.)	40
4.1.2 Acúmulo de carbono em Canela-do-brejo (<i>Machaerium stiptatum</i> (DC.) Vog.) .	49
4.1.3 Acúmulo de carbono em Catiguá-vermelho (<i>Trichilia clausenii</i> C. DC.)	57
4.1.4 Acúmulo de carbono em Chal-chal (<i>Allophylus edulis</i> (St. Hill.) Radalk.)	64
4.1.5 Acúmulo de carbono em Guabirova (<i>Campomanesia xanthocarpa</i> Berg.)	71
4.1.6 Acúmulo de carbono em Laranjeira-do-mato (<i>Gymnanthes concolor</i> Spreng.) . .	77
4.1.7 Acúmulo de carbono em Pau-de-ervilha (<i>Trichilia elegans</i> Adr. Jussieu subesp. <i>elegans</i>)	83
4.2 Dinâmica do Carbono Orgânico na Floresta Secundária	89
5 CONCLUSÕES	97
6 RECOMENDAÇÕES	101
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

1 INTRODUÇÃO

A cobertura florestal do Rio Grande do Sul, que no início da colonização européia cobria pelo menos a terça parte do Estado, em 1983 representava apenas 5,6% da sua área, de acordo com o “Inventário Florestal Nacional - Rio Grande do Sul”. Atualmente o território gaúcho conta com 17,5% de área com florestas nativas, sendo 13,5% em estágio avançado e médio de sucessão e 4,0% em estágio inicial de regeneração. Tal aumento nas áreas de florestas naturais deve-se, em grande parte, aos seguintes fatores: abandono das áreas mais difíceis de serem cultivadas, maior rigor da legislação pertinente e maior conscientização dos proprietários sobre a importância das florestas para o meio ambiente e para a conservação de recursos naturais, bases da produção primária de suas áreas (Rio Grande do Sul, 2001).

Segundo Vaccaro (1997), estes dois últimos séculos da história da humanidade foram marcados por um crescimento tecnológico-populacional cada vez mais rápido, porém, de maneira não sustentável, produzindo, neste curto espaço de tempo, o mais extenso e profundo impacto sobre os ecossistemas que o homem até então foi capaz de causar, isso quase sempre relacionado à agricultura ou pecuária.

A ação antrópica devastadora sobre as florestas ocasiona o aumento da concentração de gases poluentes pelas queimadas e mau uso do solo, gerando efeitos como a menor assimilação do carbono pela redução da massa fotossintética viva. Cita-se que desde o ano de 1850 até o presente, o desflorestamento vem contribuindo com aproximadamente um terço do aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera (Marcene et al., 2006). Glenday et al. (2006), estimam que 13.000.000 ha de florestas tropicais estão sendo destruídas a cada ano pelo desmatamento, emitindo de 5 – 8 Gt de carbono na atmosfera.

A partir da década de 1980, as questões relativas à degradação dos ecossistemas e as mudanças climáticas, como o aquecimento global e o efeito estufa, passaram a ocupar lugar de destaque no rol de ameaças ambientais que mais colocam em risco a integridade do Planeta. O aumento de gases como o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), Ozônio (O₃), hidrofluorcarbonos (HFCs) e o dióxido de carbono (CO₂), são os que mais contribuem para o incremento dos efeitos sobre o clima, a temperatura média terrestre no século XX sofreu um acréscimo de 0,6°C (Nishi et al., 2005).

Dentro deste cenário, a relevância das florestas como forma de redução de gases do efeito estufa, por meio da bioacumulação em seus tecidos, atingiu *status* como a principal forma de mitigação do aquecimento global de imediato. Neste sentido, surgiu uma nova demanda direcionada para as pesquisas de restauração e dinâmica de florestas naturais, que é a de quantificar o potencial destes ecossistemas florestais e discutir a eficácia na redução dos níveis de CO₂ atmosférico (Melo e Durigan, 2006).

Dentro deste enfoque, não é suficiente quantificar somente o potencial de seqüestro de carbono para as florestas nativas como um todo, mas sim, investigar qual o potencial das espécies que compõem a mesma em acumular carbono atmosférico, o que, além de fornecer informações sobre o *status* das florestas nativas em si, dá indicações relativas ao potencial das espécies quanto ao seqüestro de CO₂ em ações futuras de recuperação de ecossistemas degradados utilizando espécies componentes deste tipo florestal.

Estas observações sagram-se como suficientes para respaldar qualquer investigação que se realize sobre os processos de acumulação e dinâmica do carbono orgânico nestes ecossistemas florestais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Estudar a dinâmica do carbono orgânico na Biomassa acima do solo, de espécies arbóreas componentes de floresta secundária em região de Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza, RS.

1.1.1.1 Objetivos Específicos

- Estabelecer modelos matemáticos para a estimativa do carbono orgânico existente na biomassa acima do solo, em seus diferentes compartimentos (folhas, galhos vivos, galhos mortos, casca, madeira) das espécies estudadas;

- Observar a dinâmica do comportamento do carbono orgânico em seus diferentes compartimentos, ao longo do estabelecimento da dinâmica sucessional das espécies;

- Fornecer subsídios para o uso das espécies ocorrentes no ecossistema em projetos de reposição florestal, recuperação de áreas degradadas e na elaboração de propostas de planos de créditos de carbono de caráter conservacionista.

1.2 Justificativa

O Rio Grande do Sul apresenta, segundo dados do Inventário Florestal Contínuo do Estado, uma área de 38.159,52 Km² de Florestas naturais em estágios sucessionais de médio a avançado, correspondendo a 13,5% da sua área total (Rio Grande do Sul, 2001). Porém, muito pouco se conhecesse da dinâmica sucessional destas áreas.

Conforme Boeger et al. (2005), os estudos sobre florestas tropicais secundárias que se desenvolvem após o abandono de áreas utilizadas para a agricultura são recentes, uma vez que o processo de desflorestamento intensificou-se no século XX. Os processos sucessionais que ocorrem nas florestas secundárias são especialmente importantes para o entendimento das mudanças que ocorrem tanto na estrutura da vegetação, quanto nos processos de bioacumulação, produtividade primária e secundária, além da ciclagem em nutrientes, em especial o carbono.

Na evolução do estágio sucessional secundário, a vegetação evolui a partir uma associação de arbustos, ervas e gramas para uma floresta bem formada, com uma estrutura e riqueza de espécies semelhante à de floresta primária. Neste processo, aumenta-se rapidamente a quantidade de material de madeira na sucessão, com taxas, às vezes, semelhante àquela da floresta primária. Este incremento em madeira e matéria orgânica na sucessão provê informações práticas para avaliar a contribuição da floresta secundária na assimilação e emissão de gás carbônico, durante o crescimento e seu manejo, que resulta em um efeito direto no equilíbrio de carbono global (Puig, 2005).

Diante destes fatos, justifica-se a realização do presente estudo, para que se possa conhecer a dinâmica do carbono orgânico na biomassa de espécies de estágio sucessional secundário, fornecendo subsídios para a proposição de espécies em enriquecimento de fragmentos florestais degradados, voltados à implementação de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), incluindo ecossistemas nativos.

A implementação de projetos de seqüestro de carbono de caráter conservacionista, com a finalidade de recuperação de ecossistemas depauperados pela ação antrópica, através da inclusão

destes ecossistemas dentro do mercado de “*commodities*” ambientais, como forma de incentivo a produtores rurais para a preservação e restauração de suas reservas florestais naturais dentro de suas propriedades.

Além disso, o presente estudo vem para contribuir com o desenvolvimento de modelos matemáticos para estimativa de estoque do carbono orgânico em formações florestais nativas, que são extremamente incipientes no meio científico florestal brasileiro. Pois, se encontram raros trabalhos apenas para o Bioma Amazônico (Puig, 2005; Johnson et al., 2001), Cerrado (Rezende et al., 2006), Floresta Ombrófila Mista (Watzlawick et al., 2002); Medeiros, 2004) e na Floresta Estacional Decidual (Brun, 2004). Sendo estes trabalhos, em sua maioria, considerando a biomassa como um todo, não a compartimentalizando em frações ou por espécies da formação florestal, para que se possa observar o potencial de estoque de carbono dessas, para sua implantação em programas de recuperação de áreas degradadas e recomposição de formações florestais, com a finalidade de seqüestro de carbono.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos da Floresta Estacional Decidual

No Sul do Brasil podem ser distinguidas três regiões florestais distintas: a Floresta Ombrófila Densa (mata atlântica), Floresta Ombrófila Mista (mata de araucária) e a Floresta Estacional (mata latifoliada da bacia hidrográfica Paraná-Uruguai) (Klein, 1984a).

A Floresta Estacional pode ser subdividida, de acordo com sua fisionomia, em Semidecidual ou Decidual. Assim, quando apenas aproximadamente 20% a 50% das árvores do estrato superior perdem as folhas, a floresta é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (um exemplo é a floresta do Rio Paraná). Quando a perda de folhas for superior a 50%, a floresta é denominada de Floresta Estacional Decidual.

No estado do Rio Grande do Sul, a Floresta Estacional Decidual estende-se desde o Rio Ibicuí, no Oeste, até o rio Caí, ao Leste do Estado. Na região denominada “Fralda da Serra Geral”, predominam, mais ou menos, 70% a 90% das árvores emergentes que perdem completamente as folhas durante o inverno.

De acordo com Veloso e Góes Filho (1982), o conceito ecológico de Floresta Estacional Decidual está relacionado ao clima caracterizado por duas estações distintas, em relação à precipitação e temperatura. Ou seja, uma estação chuvosa e outra seca, ou com acentuada variação térmica, com estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes do estrato emergente, os quais têm adaptação à deficiência hídrica ou à queda de temperatura nos meses frios, que atua como seca fisiológica nas espécies tropicais.

Klein (1983) afirma que a estrutura deste tipo florestal pode ser caracterizada por três estratos arbóreos distintos, além de um estrato arbustivo e um herbáceo. O estrato das árvores dominantes, que pode atingir de 30 a 35 metros de altura, não forma uma cobertura contínua, ocorrendo como árvores emergentes. Fisionomicamente é o estrato de maior importância, caracterizando a floresta como estacional, uma vez que quase todos os indivíduos são decíduos. O estrato co-dominante, geralmente entre 20 e 25 metros de altura, é bastante denso e contínuo, formado por um número pequeno de espécies características, as quais apresentam valores sociológicos elevados, sendo composto, em sua maioria, por espécies perenifólias. O estrato

inferior possui um número relativamente elevado de árvores medianas, comumente entre 5 e 12 metros de altura, dentre as quais algumas apresentam valores sociológicos elevados, sendo as restantes bastante raras.

No estado do Rio Grande do Sul, a Floresta Estacional Decidual apresenta 229 espécies, distribuídas em 63 famílias botânicas, com um volume comercial médio de 155,5 m³ por hectare e 830,3 árvores ha⁻¹, onde se destacam as seguintes espécies: *Nectandra megapotamica* (Canela-preta), *Alchornea triplinervea* (Tanheiro), *Cupania vernalis* (camboatá-vermelho), *Luehea divaricata* (Açoita-cavalo), *Casearia sylvestris* (Chá-de-bugre), *Parapiptadenia rigida* (Angico-vermelho), *Patagonula americana* (Guajuvira), *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco) e *Allophylus edulis* (Chal-chal) (Rio Grande do Sul, 2001).

No município de Santa Tereza, RS, a formação de Floresta Estacional Decidual recobre as vertentes dos morros até uma altitude aproximada de 500 m, onde entra em contato com área de Floresta Ombrófila Mista. Quanto à composição florística da Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, Vaccaro et al. (1992) identificaram 93 espécies com CAP (Circunferência à Altura do Peito) ≥ 10 cm. Estas espécies são pertencentes a 73 gêneros e 37 famílias botânicas. As famílias Leguminosae (11 espécies), Myrtaceae (9 espécies), Lauraceae (8 espécies), Euphorbiaceae (7 espécies) e Meliaceae (6 espécies), se destacaram como sendo as mais representativas da floresta, totalizando 44% das espécies amostradas.

2.2 O ciclo do carbono e as mudanças climáticas

O carbono é um elemento químico metalóide, encontrado na natureza ou na forma cristalizada, que juntamente com o hidrogênio forma um dos elementos básicos na estrutura dos compostos orgânicos e componente primário da matéria viva, formando em torno de 400 mil compostos (Brinkster, 2002).

Nos ecossistemas, este elemento ocorre em formas bem assimiláveis: como **sólido**, em organismos, no solo e na litosfera; **dissolvido**, nos fluidos celulares, na água que permeia os organismos, nas águas superficiais (rios, lagos, entre outros) e de profundidade (lençol freático); e como **gás**, nos espaços intracelulares, nos poros do solo e na atmosfera.

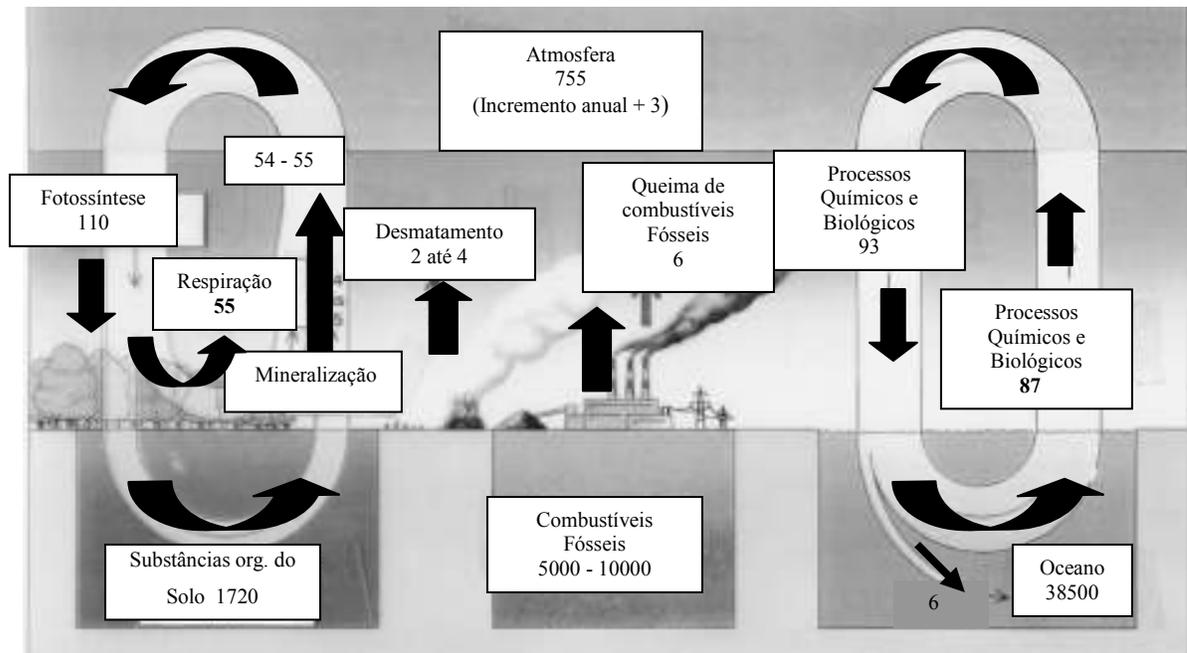
O ciclo do carbono na terra é mantido, sobretudo, por **processos vitais**. Anualmente as plantas assimilam de 6 a 7% do CO₂ existente na atmosfera ou dissolvido nas águas superficiais

de oceanos e lagos, onde cerca de 1/3 do material assimilado é aproveitado pelas próprias plantas, 1/1000 é temporariamente excluído do ciclo por sedimentação (soterramentos) e formação de turfeiras e o restante é fonte de alimentos para organismos heterotróficos, funcionando, assim, como ponto inicial da cascata de energia. A respiração, a fermentação e a decomposição de material orgânico desprendem dióxido de carbono e reabastecem as reservas de gás (Larcher, 1986).

A importância do ciclo do carbono nos ecossistemas se apresenta no sentido de que este serve como um produtor-estocador de todo o CO₂ presente no ar, pois caso não houvesse a reposição deste elemento, ele seria exaurido no planeta em menos de 20 anos, tendo em vista a fotossíntese atual. A fixação de carbono nos oceanos se encontra em torno de 1212 toneladas ano⁻¹, enquanto que o teor fixado em terra é da ordem de 1616 toneladas ano⁻¹, onde as plantas clorofiladas constituem o mais importante agente da redução de CO₂ (Brinkster, 2002).

Segundo Odum (2001), o ciclo do carbono é caracterizado por apresentar um depósito atmosférico relativamente pequeno, porém bastante ativo e vulnerável às perturbações antrópicas, ocasionando alterações diretas no clima do planeta.

Hosokawa (2003) afirma que tal efeito perturbatório das ações antrópicas tem se efetivado, principalmente, nas últimas décadas, onde se observou um crescimento desordenado da massa de seres humanos. Em virtude disso, veio a formar um nível de saturação na biosfera, no qual a relação de produção e consumo na biosfera foi profundamente alterada, desequilibrando, por fim, a relação harmoniosa que existia entre a litosfera, hidrosfera, atmosfera, fitosfera e antroposfera, pois se observa que, anualmente, são liberados 6 Gt (Gigatonelada) de carbono, devido à queima de combustíveis fósseis e 2 a 4 Gt, em consequência da destruição das florestas. Deste montante, 6 Gt C são teoricamente fixados, através do ciclo do carbono, nos oceanos e, aproximadamente, 3 Gt C permanecem na atmosfera, aumentando o efeito estufa, como pode ser visto na Figura 1.



Fonte: Adaptado de Krapfenbauer (1991).

Figura 1- Balanço anual de carbono: emissão e circulação na atmosfera, solo e água (valores em gigatoneladas = 10^9 t).

As conseqüências diretas do aumento das emissões de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera são, a redução da produtividade agrícola nos trópicos e sub-trópicos; aumento do risco de inundações e deslocamento de milhões de pessoas devido ao aumento do nível do mar, especialmente em regiões insulares e em deltas de rios de baixa altitude e elevação do número de pessoas expostas a doenças transmissíveis por vetores como a malária, dengue e pela água, como a cólera (Chang, 2004).

Diante destas situações agravantes, cientistas, ambientalistas, políticos e governantes, por meio de pesquisas e análises, desenvolvidas nos últimos anos, chegaram ao estabelecimento do Protocolo de Kyoto, documento que tem por objetivo primordial a orientação e estabelecimento de novas diretrizes e metas para a reversão do atual quadro de mudanças climáticas, que vem se instaurando em nosso planeta, ocasionadas pelas emissões desordenadas dos seis principais gases formadores do efeito estufa: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e 3 tipos de compostos clorofluorcarbono-freons (CFC's).

Conforme REMADE (2003), o Protocolo de Kyoto, a fim de cumprir com a meta de redução destes gases em 5,2% dos valores emitidos em 1990, conforme estabelecido em 1997,

ano de sua assinatura, desenvolveu e implementou três mecanismos de flexibilidade para que sejam implantados em seus países signatários, que são, respectivamente: **Cotas Transacionáveis de Carbono, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.**

O mecanismo de Cotas Transacionáveis de Carbono possibilita que países do Anexo B (industrializados) possam intercambiar suas taxas de emissão, facilitando, assim o cumprimento dos níveis de emissão estabelecidos pelo Protocolo. O mecanismo de Implementação Conjunta permite que os países do Anexo B desenvolvam e transfiram tecnologias, projetos e valores entre eles, dando-lhes créditos de compra e venda das emissões. E, por fim, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo estabelece que os países do Anexo B possam desenvolver projetos e programas em parceria com os países não pertencentes ao Anexo B (países em desenvolvimento), tanto os projetos de redução de emissão quanto os projetos de fixação de carbono.

Araújo (1999) ressalta que para ocorrer o seqüestro ou fixação de carbono é necessário partir do princípio que as emissões produzidas por um determinado país, região ou empresa podem ser compensadas por atividades florestais que absorvam o dióxido de carbono atmosférico em seu desenvolvimento vegetativo, levando em conta que o CO₂ é um gás de circulação global e, portanto, sua absorção independe da origem de sua fonte de emissão.

Nesse âmbito, as florestas ganham um elevado patamar de significância dentro do ciclo de carbono, pois elas, segundo Leão (2000), têm a função primordial de eliminar o excesso de dióxido de carbono do ar que, combinado com a água absorvida do solo, produzem carboidratos que, por fim, restituem à Terra parte do carbono fixado, do qual uma parte se transforma em elemento da crosta terrestre, sob a forma de carvão ou gás, mantendo o equilíbrio entre os gases, a água e os nutrientes, garantindo a sustentabilidade dos ecossistemas a nível ecológico, e das nações no sentido econômico.

Porém, para que ocorra a formação de divisas econômicas com o mercado de *commodities* ambientais, primordialmente com o mercado de carbono, é importante o conhecimento da dinâmica pertinente a este ciclo nos ecossistemas florestais, para que haja uma exploração racional e sustentável dos benefícios advindos desta atividade promissora.

A incorporação dos ecossistemas naturais, através da implementação dos projetos de Seqüestro de carbono florestal, de caráter conservacionista é de suma relevância, pois esses priorizam os benefícios ambientais secundários, através da conservação, para a geração do carbono, onde se combinam, em primeiro lugar, a restauração de fragmentos florestais

degradados por atividades humanas impactantes e, em segundo lugar, visam à geração de créditos de carbono (Chang, 2004).

2.3 Importância da quantificação do carbono orgânico em Ecossistemas Florestais Nativos

Watzlawick et al. (2002), afirmam que estudos realizados em florestas naturais são diminutos, devido, principalmente, à complexidade do ecossistema. Porém, mesmo assim, isso não invalida a importância da participação das mesmas no processo de fixação de carbono, através da conservação de florestas com o manejo sustentado, gerando benefícios ambientais pela conservação e de toda a sua biodiversidade. Também de benefícios socioeconômicos, pela geração de emprego e renda, bem como através da recomposição de áreas degradadas, filtros biológicos para a purificação da água ou a realização de projetos que se relacionem com o extrativismo de produtos não madeiráveis.

Rezende (2002) afirma que os ecossistemas tropicais e subtropicais desempenham um importante papel no ciclo global do carbono e isso se deve tanto pelo fato desses propiciarem diminuição na quantidade de CO₂ na atmosfera, quanto por atuarem como sorvedouros de gás carbônico atmosférico. Qualquer alteração, em decorrência de distúrbios naturais e antrópicos, provocam mudanças nos fluxos para a atmosfera, onde a maior parte do carbono estocado nas árvores é liberado rapidamente, através do corte da vegetação e queima da biomassa aérea, visando a abertura de terras para agricultura e pastagem.

Conseqüentemente, o conhecimento dos parâmetros de uma floresta fornecem valiosas informações quantitativas e qualitativas para a tomada de decisões e aplicabilidade de medidas compensatórias em relação às emissões de gás carbônico, e na quantificação da biomassa florestal, favorecendo a compensação dos danos causados ao meio ambiente, através da recomposição de florestas degradadas (Medeiros, 2004).

Mas o potencial de acúmulo de carbono varia entre os Biomas, por exemplo, no Bioma amazônico o estoque em carbono para uma sucessão secundária de 40 anos é de 2,07 Mg C ha⁻¹, acumulado nas folhas e 107,1 Mg C ha⁻¹ estocado na madeira da floresta (Johnson et al., 2001). No Bioma Cerrado se observam valores de 29,1 Mg C ha⁻¹ na biomassa para formações florestais secundárias de 23 anos (Melo e Durigan, 2006).

Boeger et al. (2005), estudando três estágios sucessionais de uma formação de Floresta Ombrófila Densa no Paraná, observaram que os teores de carbono nas folhas da fase sucessional secundária foram de 529 g kg⁻¹ para a espécie *Trenstroemia brasiliensis*, 512 g kg⁻¹ para *Rapanea venosa*, 507 g kg⁻¹ para *Clusia criuva*, 521 g kg⁻¹ para *Ocotea pulchella*, 471 g kg⁻¹ para *Psidium cattleianum*, 525 g kg⁻¹ para *Ilex theezans*, 494 g kg⁻¹ para *Gomidesia fenzliana* e 521 g kg⁻¹ para *Calophyllum brasiliense*, sendo que o teor médio para o estágio sucessional secundário foi 510 g kg⁻¹. Esses autores afirmam, ainda, que as concentrações de carbono tendem a variar, ao longo dos estágios sucessionais, apresentando-se maiores nos estágios iniciais e reduzindo-se ao longo do avanço da sucessão, devido, principalmente, às modificações do material estrutural das folhas, que em estágios iniciais apresentam maior presença de espécies com características escleromorfias, que são ricas em materiais estruturais, contendo altos teores de lignina, celuloses e gorduras, que são ricas em carbono.

Para as formações florestais típicas do Rio Grande do Sul, como a Floresta Ombrófila Mista, quantificando-se apenas a regeneração natural verificam-se valores de 7,5 Mg C ha⁻¹ distribuídos da seguinte forma: na madeira 3,0 Mg C ha⁻¹, nos galhos alocaram-se 1,7 Mg C ha⁻¹ e 0,4 Mg C ha⁻¹ nas folhas (Medeiros, 2004).

Brun (2004), através do seu estudo de quantificação de biomassa e nutrientes para estágios sucessionais de capoeirão e floresta secundária em uma formação de Floresta Estacional Decidual, verificou um acúmulo de carbono para a sucessão de Capoeirão de 41,8 Mg C ha⁻¹ contidas na biomassa acima do solo (folhas, galhos, madeira e casca), 13,5 Mg C ha⁻¹ nas raízes e 2,8 Mg C ha⁻¹ contida na serapilheira. Para a Floresta Secundária foram estocadas 65,4 Mg C ha⁻¹ na biomassa acima do solo, 17,1 Mg C ha⁻¹ nas raízes e 3,7 Mg C ha⁻¹, sendo que este autor ressalta que a eficiência de utilização dos nutrientes tende a aumentar com a idade da sucessão vegetal, para a maioria dos nutrientes, implicando em melhor aproveitamento dos mesmos.

Dada esta gama de potenciais de acúmulo de carbono orgânico por parte das florestas nativas, justifica-se a realização de trabalhos científicos pormenorizados para as diferentes formações, levando-se em conta a compartimentalização da biomassa em suas diferentes frações formadoras (folhas, galhos, casca e madeira) e, principalmente, determinar o potencial de estoque de carbono das diferentes espécies componentes dos estágios sucessionais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do Local de Estudo

3.1.1 Localização

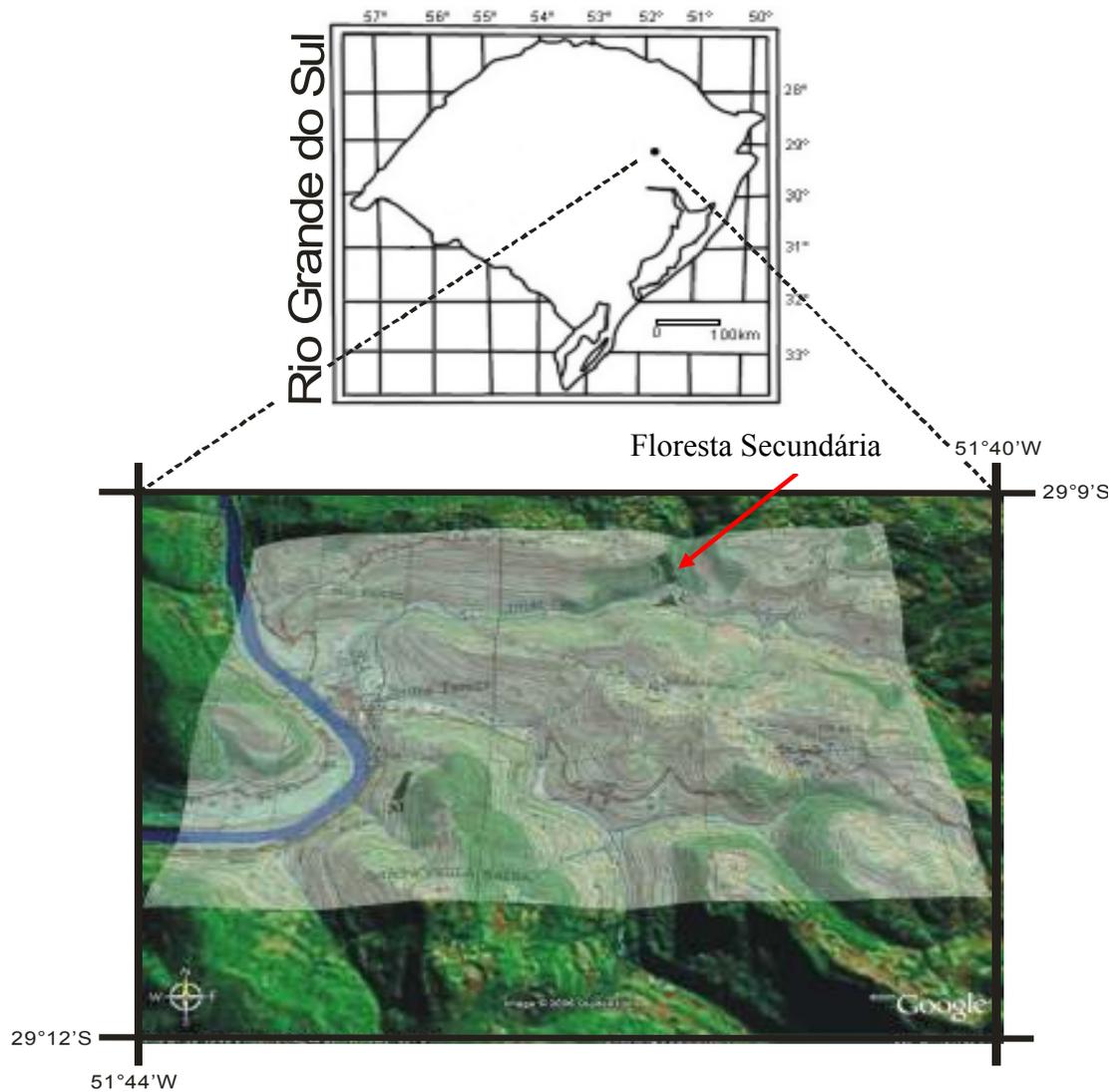
O presente projeto de pesquisa foi realizado no município de Santa Tereza, região Nordeste do estado do Rio Grande do Sul.

A zona urbana de Santa Tereza situa-se em terreno plano a suavemente ondulado, pois se encontra às margens do Rio Taquari, a cerca de 100 metros de altitude. A pequena cidade é rodeada por elevações montanhosas que atingem em torno de 500 a 600 metros de altitude formando assim vales de rara beleza. As vertentes dos morros são cobertas por vegetação pertencente à Floresta Estacional Decidual, em vários estágios sucessionais, entremeadas por poucas áreas cultivadas (Figura 2).



Figura 2- Aspecto geral do município de Santa Tereza, RS, 2004.

A localização precisa da área de estudo pode ser observada na Figura 3.



Fonte: adaptado de Wojciechowski (2006).

Figura 3- Localização da área de estudo, em Santa Tereza, RS.

3.1.2 Clima

A região onde se situa a área de estudo encontra-se sob clima Cfa segundo a classificação de Köppen (Moreno, 1961), caracterizado por clima temperado, chuvas bem distribuídas ao longo do ano, temperaturas do mês mais frio entre -3° e 18°C , e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C . Tomando-se as isotermas e as isoietas, a temperatura média anual da região gira em torno de 18°C e a precipitação média anual é de aproximadamente 1800 mm.

3.1.3 Solos

Os solos da área de estudo caracterizam-se, conforme Streck et al. (2002), como uma associação das Unidades de Mapeamento Farroupilha (Cambissolo Húmico alumínico típico, eutrófico, A chernozêmico) com profundidade variando de rasos a profundos, apresentando um perfil de seqüência com horizontes A – B – C, associado aos Neossolos litólicos da Unidade Caxias. Devido a sua paisagem típica, as baixas temperaturas e alta pluviosidade é favorecido o acúmulo de matéria orgânica. A aptidão agrícola destes solos se restringe as culturas anuais e a fruticultura, em pequena extensão, e a silvicultura, pois o relevo acidentado, a forte acidez e a baixa disponibilidade de nutrientes, limita o uso agrícola desses solos.

3.2 A Floresta Secundária estudada

3.2.1 Caracterização geral

A fase sucessiona de floresta secundária apresenta-se com aproximadamente 53 anos de idade, estando localizada nas coordenadas geográficas de 29°09'29''Latitude Sul e 51°41'49''de Longitude Oeste, a uma altitude de 180 metros, com exposição Oeste.

Nesta floresta, foram encontradas 48 espécies, pertencentes a 39 gêneros e 23 famílias. As famílias com maior riqueza de espécies foram Leguminosae (8 espécies), Lauraceae (5 espécies), Flacourtiaceae, Myrtaceae e Sapindaceae (4 espécies cada). Estas 5 famílias abrangeram 52,1% das espécies amostradas. No que se refere ao número de indivíduos, a família Sapindaceae representou 46,2% dos indivíduos, seguida da família Leguminosae (16,8%) e Meliaceae (10,2%) (Vaccaro, 1997).

Com base no estudo de Brun (2004), que avaliou o acúmulo de biomassa e nutrientes para duas fases sucessionais locais, sendo uma delas a floresta secundária, objeto deste estudo, selecionou-se as espécies que dentro das parcelas instaladas para coleta de biomassa (item 3.3.3) apresentavam um número de indivíduos maior ou igual a 5 ($n \geq 5$). Dentre estas espécies, selecionaram-se sete espécies para este estudo, em virtude de sua maior significância dentro da floresta.

Com base nas amostras das frações da biomassa destes indivíduos, foram realizadas análises quanto ao teor de carbono (item 3.3.3) para as sete espécies e construção de modelos matemáticos de acúmulo de carbono e, por conseguinte, a estimativa da quantidade deste C nas espécies e na floresta secundária, a partir das medições realizadas por Vaccaro (2002), que estudou o crescimento dos indivíduos arbóreos da área (item 3.3.1).

As espécies selecionadas apresentam-se descritas abaixo:

3.2.2 Aspectos das espécies estudadas

Camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides* Radlk.)

Família: Sapindaceae

Ocorrência: Minas Gerais até o Rio Grande do Sul. No Rio Grande do Sul, está vastamente dispersa por todas as florestas primárias e secundárias, ocorrendo nas florestas latifoliadas do Alto Uruguai, Planalto Médio, Serra do Sudeste e em toda extensão das matas da Fralda da Serra Geral (Longhi, 1995).

Dinâmica Sucessional: secundária tardia (Vaccaro, 1997).

Descrição Botânica: árvore de médio porte até 25 m de altura, com diâmetro variando entre 40 a 60 cm. Casca de coloração acinzentada, áspera, com fissuras irregulares. As folhas são alternas, compostas, pinadas, de até 20 cm de comprimento, com folíolos oblongos a lanceolados, de até 10 cm de comprimento por 3 cm de largura. As inflorescências são do tipo panícula axilar. As flores são hermafroditas, de coloração branca. Os frutos são do tipo cápsula, trigona, de até 1,5 cm de comprimento (Backes e Irgang, 2002).

Usos: a madeira pode ser empregada na construção civil na construção de caibros, vigas e ripas, tabuado em geral para obras internas (Lorenzi, 1998). Boa para lenha e ótima para carvão, apresentando alto poder calorífico, sendo indicada para a formação de florestas energéticas. A casca fornece tanino e as flores são melíferas (Longhi, 1995).

Informações ecológicas: pode ser usada em recomposição florestal, em áreas de vegetação secundária, visando a preservação permanente. É uma árvore apropriada para o reflorestamento nas margens de rios e reservatórios de hidrelétricas, pois os frutos atraem os

pássaros responsáveis pela dispersão de seus frutos e de outras espécies (Longhi 1995; Backes e Irgang, 2002).

Canela-do-brejo (*Machaerium paraguariense* Hassl.)

Família: Leguminosae - Papilionoideae

Ocorrência: Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul.

Dinâmica Sucessional: secundária inicial (Vaccaro, 1997).

Descrição Botânica: árvore de pequeno porte, de até 8 m de altura, com fuste curto e diâmetro de até 40 cm. As folhas são alternas, compostas e pinadas com folíolos elípticos de até 6 cm de comprimento por até 3 cm de largura. As inflorescências são em racemos, com flores pequenas, hermafroditas e com coloração branco-esverdeada. O fruto é do tipo sâmara alada (Backes e Irgang, 2002).

Usos: a madeira é utilizada na fabricação de cangas-de-boi, barricas e tornearia em geral. Apresenta um bom potencial paisagístico para arborização em grandes espaços (Backes e Irgang, 2002).

Informações ecológicas: ocorre principalmente em formações secundárias, apresenta nítida preferência por solos férteis, tanto os situados em baixadas úmidas como em terrenos pedregosos. Produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis (Lorenzi, 1998).

Cátigua-vermelho (*Trichilia clausenii* C. DC.)

Família: Meliaceae

Ocorrência: Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul. No Rio Grande do Sul, está vastamente dispersa por todas as áreas florestais, em especial na zona da mata pluvial da Encosta Atlântica, nas Planícies Quaternárias do Litoral, e frequentemente, nas submatas dos pinhais do planalto e no Escudo Rio-grandense (Longhi, 1995).

Dinâmica Sucessional: sub-bosque (Vaccaro, 1997).

Descrição Botânica: árvore de pequeno porte de até 12 m de altura com fuste curto. Casca fina e lisa, de coloração acinzentada e descamante. As folhas são compostas por 3 folíolos elípticos de até 17 cm de comprimento por 4 cm de largura. As inflorescências são do tipo panícula axilar de coloração amarelada. Os frutos são cápsulas ovóides de coloração avermelhada de até 2 cm comprimento por 1 cm de largura (Backes e Irgang, 2002).

Usos: a madeira é própria para obras externas, marcenaria e torno. Fornece ótima lenha. A casca serve para os curtumes, pela presença de tanino. Apresenta matéria tintorial, muito apreciada, que vai desde o amarelo ao laranja e também vermelho escuro. Na medicina popular é empregada como inseticida e purgativa (Longhi, 1995).

Informações ecológicas: planta adaptada ao crescimento em ambientes sombreados. É indicada para o adensamento de matas ou capoeiras degradadas de áreas de preservação permanente bem como para a composição de florestas heterogêneas, destinadas a proteção de áreas incultas. Ocorre no interior da mata, estando situada tanto em solos úmidos de planícies aluviais e início de encostas, bem como em solos pedregosos do topo de morros, onde pode chegar a representar espécie dominante (Lorenzi, 1998).

Chal-chal (*Allophylus edulis* (A.St. Hill.et al.) Radlk.)

Família: Sapindaceae

Ocorrência: Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul. No Rio Grande do Sul, é uma espécie muito comum em todo o Estado, encontrada, sobretudo no estrato médio e inferior de mata alta, destacando-se mais na mata baixa, sendo menos freqüente na Mata Atlântica (Longhi, 1995).

Dinâmica Sucessional: secundária inicial (Vaccaro, 1997).

Descrição Botânica: árvore de pequeno porte com até 10 m de altura, fuste curto. Casca escamante debaixo para cima, em placas irregulares, de cor pardo-escuro. As folhas são compostas alternas, com 3 folíolos, lanceolados de bordo serrado, com até 12 cm de comprimento por 3 cm largura. As inflorescências são do tipo tirso terminais de coloração branco-esverdeadas. Os frutos são do tipo drupa esférica de coloração vermelha, de até 8 mm de comprimento (Backes e Irgang, 2002).

Usos: a madeira é própria para marcenaria, esteios, moirões, lenha e carvão, sendo muito pouco empregada para estas finalidades. Recomenda-se o seu plantio em praças e avenidas devido o belo efeito ornamental, além de servir como alimentação da avifauna (Longhi, 1995).

Informações ecológicas: planta indispensável para reflorestamentos heterogêneos destinados à recomposição de áreas degradadas de preservação permanentes (Lorenzi, 1998).

Guabirova (*Campomanesia xanthocarpa* Berg)

Família: Myrtaceae

Ocorrência: Minas Gerais até o Rio Grande do Sul. No Rio Grande do Sul apresenta vasta e expressiva dispersão, principalmente pelo Planalto, na zona dos pinhais, onde ocorre, preferencialmente, nos solos úmidos e compactos de planícies, várzeas e solos de aclive suave. Igualmente freqüente na Bacia do Jacuí, Ibicuí e no Escudo Rio-grandense (Longhi, 1995).

Dinâmica Sucessional: secundária inicial (Vaccaro, 2002).

Descrição Botânica: árvore de médio porte, semidecidual, de copa densa e arredondada, de até 25 m de altura, apresenta fuste reto. A casca possui coloração pardo-acinzentada, soltando-se em tiras longitudinais. As folhas são opostas, simples de até 10 cm de comprimento por até 4,5 cm de largura. As flores são solitárias de coloração branca, e o fruto do tipo baga globoso de coloração amarela (Backes e Irgang, 2002).

Usos: a madeira é aproveitada para instrumentos musicais e cabos de ferramentas. Geralmente, é a lenha preferida para o “sapeco” da erva-mate. É umas das frutíferas nativas que mais produz abundante frutificação, própria para consumo humano (Longhi, 1995).

Informações ecológicas: indicada para plantio em áreas degradadas com função de preservação permanente (Backes e Irgang, 2002).

Laranjeira-do-mato (*Gymnanthes concolor* Spreng.)

Família: Euphorbiaceae.

Ocorrência: Ceará até o Rio Grande do Sul. Apresenta-se como arvoreta característica da Floresta Ombrófila Densa da costa Atlântica e da Floresta Estacional Decidual do Alto Uruguai, apresentando vasta dispersão, estendendo-se desde praticamente o nível do mar, na floresta pluvial atlântica e de 200 m na floresta latifoliada do Alto Uruguai até 800 metros de altitude, penetrando como elemento pioneiro até os sub-bosques dos pinhais (Klein, 1984b).

Dinâmica Sucessional: sub-bosque (Vaccaro, 1997).

Descrição Botânica: arvoreta de 5 a 10 m de altura e 6 a 10 cm de diâmetro à altura do peito. Tronco mais ou menos reto, ou levemente tortuoso, apresenta ramificação racemosa fina e ramos quase horizontais, formando copa alongada e estreita, provida de folhagem verde brilhante. As inflorescências são hermafroditas, dispostas em racemos, e a floração ocorre de agosto a janeiro.

Informações ecológicas: na Floresta Estacional Decidual do Alto Uruguai e da bacia do Jacuí, é onde a espécie apresenta sua maior vitalidade, em solos rochosos em topos de serra pode até mesmo formar um estrato puro. Torna-se particularmente freqüente nas chapadas das florestas latifoliadas da Serra Geral, onde por vezes constitui aproximadamente 50% do estrato das arvoretas, imprimindo uma “face” toda peculiar ao estrato das arvoretas das chapadas situadas na bacia dos rios Taquari, Caí e dos Sinos (Klein, 1984b).

Pau-de-ervilha (*Trichilia elegans* A. Juss.)

Família: Meliaceae

Ocorrência: muito abundante no Sul do Brasil, Paraguai e norte da Argentina, estendendo-se em direção ao norte através da parte leste e central da Bolívia e, então, ao longo das encostas do leste dos Andes, através do Peru e da Colômbia, ocorrendo também no lado Pacífico dos Andes, na Colômbia, Equador e Norte do Peru. No Leste do Brasil ocorre, esporadicamente, em Minas Gerais e Goiás.

Dinâmica Sucessional: sub-bosque (Klein, 1984c).

Descrição Botânica: árvore de 2 a 6 m de altura. As folhas são compostas, com folíolos simétricos. A floração é de coloração branca ou branca-esverdeada. Os frutos são de coloração vermelho vinho.

Informações ecológicas: as informações ecológicas sobre a espécie são escassas. Arvoreta característica exclusiva das Florestas Estacionais Deciduais e Semidecidual no Alto Uruguai, onde apresenta vasta e expressiva dispersão, ocorrendo em altitudes compreendidas entre 100 e 700 metros (Klein, 1984).

3.3 Metodologia específica

3.3.1 Avaliações de acúmulo de carbono nas espécies

Para a avaliação do incremento e da dinâmica do carbono orgânico nas espécies foram utilizados dados de 10 parcelas permanentes de 10 m x 20 m sistematicamente distribuídas, na floresta secundária analisada, onde foram medidos: CAP, altura total, altura de inserção da copa entre outras variáveis, de todos os indivíduos com CAP ≥ 10 cm (DAP $\geq 3,2$ cm) conforme descrito em Vaccaro (2002). As medições foram realizadas nos anos de 1996, 1999 e 2003. Para a obtenção da altura de copa a ser utilizada para a modelagem matemática das frações folhas e galhos (vivos e mortos) procedeu-se pela diferença da altura total e altura de inserção de copa.

Para um melhor entendimento da dinâmica do carbono nas diferentes espécies estudadas, estimou-se as taxas de ingresso e mortalidade de indivíduos nas espécies da floresta secundária. Adotaram-se os critérios estabelecidos para esta fase sucessional descritos em Vaccaro (2002), procedendo pela base de cálculo do período de 1996 a 2003, empregando-se as seguintes expressões matemáticas:

$$TAI_j = \frac{\sum_{ij} (I_i/m_i * 12)}{N_j} * 100 \quad (1)$$

$$TAM_j = \frac{\sum_{ij} (M_i/m_i * 12)}{N_j} * 100 \quad (2)$$

Onde:

TAI_j = Taxa anual média de ingresso da espécie j , expresso em percentagem;

TAM_j = Taxa anual média de mortalidade da espécie j , expresso em percentagem;

\sum_{ij} = Somatório das parcelas i da espécie j ;

I_i = Número de árvores na parcela i entre 1996 e 2003;

M_i = Número de árvores que morreram nas parcela i entre 1996 e 2003;

m_i = Intervalo entre medições da parcela i , expresso em meses;

N_j = Número de árvores vivas da espécie j em 1996;

3.3.2 Coleta de biomassa

Com base na amostragem desenvolvida por Brun (2004), foram instaladas, aleatoriamente, três (03) unidades amostrais de formato quadrado, medindo 10 m x 10 m (100 m²). Visou-se, com isso, adequar a localização e o formato das mesmas em relação a outras unidades amostrais permanentes, instaladas nas florestas, as quais apresentam pequena área total, entre 2 e 3 hectares cada.

As unidades amostrais foram dimensionadas com o uso de trena e demarcadas com estacas de madeira, nas extremidades e circundadas com fita plástica. Depois disso, todos os indivíduos com CAP \geq 10 cm (estrato arbóreo) foram medidos em relação a esta variável e identificados quanto à espécie.

As plantas foram abatidas com o uso de moto-serra, e retirados os seus galhos e cipós associados. Antes da determinação da sua biomassa, cada árvore foi cubada rigorosamente, segundo o método de Smalian (Finger, 1992), podendo-se obter, com isso, a altura total e do tronco, CAP e DAP, área basal e volume.

Após a cubagem, as árvores foram segregadas nas frações madeira do tronco, casca do tronco, galhos e folhas. Os galhos foram separados do tronco e classificados como vivos (verdes) e mortos (secos). Dos galhos vivos coletaram-se todas as folhas. A partir do tronco, foram considerados como galhos todo o material lenhoso acima do ponto de inversão morfológica.

A massa fresca das folhas, galhos vivos e mortos, casca e madeira do tronco do estrato arbóreo, bem como as frações dos demais estratos, foram determinadas a campo, com auxílio de balança de gancho.

Para a amostragem das frações madeira e casca do fuste, foram retirados, com o uso de moto-serra, três discos de 5 cm de espessura de cada tronco, sendo um na base, outro no meio e outro no final do comprimento do tronco. Destes três discos, separou-se a casca da madeira e aferiu-se igualmente a massa fresca de ambos. A partir da relação massa seca/massa fresca das amostras destas frações, estimou-se primeiro o percentual de madeira e de casca de cada amostra e depois a massa seca total das mesmas, para o tronco inteiro. Visando evitar o aparecimento de fungos nas amostras, após cada dia de coleta, as mesmas eram postas a secar ao sol para uma pré-secagem.

Cada amostra foi acondicionada em saco plástico, devidamente identificado, sendo posteriormente levados ao Laboratório de Ecologia Florestal, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais – Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, visando a determinação da massa seca e teor de carbono orgânico (C).

3.3.3 Processamento das amostras

Após a chegada ao laboratório, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel para secagem em estufa de circulação e renovação de ar a uma temperatura de 75⁰C, por aproximadamente 72 horas. Após isso, as mesmas foram pesadas em balança de precisão (0,01 g) para obtenção da massa seca. Tendo-se por base os pesos fresco e seco das amostras, foi estimado o peso seco total dos diversos componentes das árvores, através do cálculo do teor de umidade das amostras, o qual foi extrapolado para os pesos frescos totais das amostras de cada árvore. De forma a facilitar a secagem das amostras de madeira e galhos mais grossos, as mesmas foram picadas em pequenos pedaços antes de serem colocadas na estufa.

Para a determinação do conteúdo de carbono nas diferentes frações (folhas, galhos vivos e mortos, casca e madeira), foram selecionadas aleatoriamente dentro das espécies, 5 árvores amostras.

Posteriormente, cada amostra das diferentes frações foi moída em moinho do tipo Wiley, com peneira de 30 *mesh*, visando à análise química do material.

As determinações dos teores de carbono orgânico, nas frações de cada espécie avaliada, foram realizadas conforme a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

O estoque de carbono orgânico, em kg ha^{-1} , nos compartimentos da biomassa acima do solo, foi obtido a partir da biomassa seca (kg) e dos valores da concentração deste elemento para cada componente da biomassa, fornecendo o conteúdo total do mesmo e seu incremento médio anual (IMC).

3.3.4 Processamento dos dados

A modelagem da quantidade de carbono, acumulado em cada espécie, partiu das seguintes variáveis: quantidade de carbono acumulado nas frações (folhas, galhos vivos e mortos, madeira e casca), DAP, altura total (h_t) e altura de copa (h_c).

Para iniciar o procedimento de modelagem, primeiramente foram realizadas análise de correlação de Pearson entre a altura de copa e diâmetro para as frações constituintes da copa (folhas, galhos vivos e mortos) e entre diâmetro e altura total das árvores para as frações do fuste (cascas e madeira) de forma a avaliar-se o padrão de interrelação entre as variáveis independentes (d , h_c , h_t) e variável dependente (C). As correlações com valor $< 0,6$, foram consideradas correlações ditas “fracas” portanto, nos casos que ambas variáveis independentes apresentavam tal condição em relação a quantidade de carbono observado nas árvores amostras, partia-se para a elaboração de modelos de dupla entrada contendo as duas variáveis agrupadas (altura e diâmetro).

Após o estabelecimento da correlação de Pearson conduziu-se a modelagem pelo procedimento *Stepwise* na opção *Forward do Software S.A.S 8.0*. A opção do procedimento *Forward* deve-se pelo mesmo partir da variável independente mais correlacionada com a variável dependente para, no passo seguinte, incluir mais uma variável que apresentar maior correlação parcial e posteriormente serem testadas pelo teste F (Schneider, 1998). Portanto, foi realizado o procedimento para cada fração componente da biomassa para cada grupo de dados das espécies. Os parâmetros analisados para a seleção do melhor modelo foram: Coeficiente de Determinação (R^2), Erro padrão da estimativa (S_{yx}) expresso em kg de C por árvore e Valor de F calculado (F).

De posse de todos os dados, o teor de carbono de cada espécie por parcela foram comparados pelo Teste de Tukey, a um nível de probabilidade de 5%, para a seleção das espécies que apresentam maior potencial de concentração e seqüestro de carbono nas frações folhas,

galhos vivos, casca e madeira. Para a fração de galhos mortos, devido à apenas duas espécies apresentarem a fração empregou-se Teste t para a comparação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dinâmica do Carbono Orgânico nas Espécies Estudadas

4.1.1 Acúmulo de carbono em Camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides* Radlk.)

A Tabela 1 apresenta as correlações de Pearson, estabelecidas entre as quantidades de carbono observadas nas diferentes frações da biomassa das árvores amostradas, e as variáveis dendrométricas mensuradas para a construção dos modelos matemáticos, para a estimativa nas diferentes frações formadoras da biomassa na espécie.

Tabela 1- Correlação entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco) com as variáveis mensuradas.

Fração	d	h _c	h _t
Folhas	0,715	0,920	
Galhos vivos	0,875	0,807	
Galhos mortos	0,781	0,827	
Casca	0,970		0,762
Madeira	0,986		0,702

Com base na Tabela 1, observa-se que o carbono da maioria das frações constituintes da copa, como folhas e galhos mortos obtiveram a maior correlação com a variável altura de copa (h_c), indicando que à medida que aumentar a altura de copa maior será a quantidade de carbono alocado nestes tecidos. O carbono da fração galhos vivos, embora também seja constituinte da copa, apresentou comportamento semelhante com as frações constituintes do fuste, como a casca e a madeira, onde as correlações mais significativas foram com a variável diâmetro do que em relação as variáveis h_c e h_t. Tal fato se deve a essas frações apresentarem um comportamento de estocadoras de carbono em seus tecidos.

Conforme Larcher (2000), as plantas apresentam mecanismos de assimilação de CO₂ bastante flexíveis para o suprimento das diferentes necessidades dos órgãos das plantas, sendo controlada conforme a demanda (manutenção, crescimento e estoque), onde, na planta, os produtos assimilados nos sítios de produção (tecidos fotossinteticamente ativos “fonte”, como as folhas e galhos vivos) são transportados continuamente para outros locais, onde serão

consumidos ou estocados (zonas de crescimento, sementes, frutos e tecidos de deposição, os “drenos”). Portanto, para um desenvolvimento harmônico da planta como um todo, é essencial que cada um dos órgãos e tecidos receba a quantidade necessária de assimilados e que este abastecimento seja efetuado no tempo correto, por meio de mudanças de prioridade no abastecimento, para que seja possível manter suprida uma zona de franco crescimento e ao mesmo tempo, evitar que um tecido ou órgão com pouca atividade (senescente) seja superabastecido.

Na Tabela 2, apresenta-se o modelo matemático para estimativa da quantidade de carbono orgânico na fração folhas de *Matayba elaeagnoides*, com base no procedimento stepwise opção forward.

Tabela 2- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de *Matayba elaeagnoides*, em quilogramas (kg), em função da altura de copa das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _f = b ₀ + b ₁ h _c ²	b ₀ = 0,00181	0,01667	0,01	0,9205	0,9481	0,02238	57,78
		b ₁ = 0,00425	0,00057	57,78	0,0051			

Sendo: C_f = quantidade de carbono na fração folhas por árvore (kg); h_c = altura de copa (m); B_j = parâmetros da equação; S_{yx} B_j = erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F' = valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F = probabilidade maior que o valor de F calculado; R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F = valor de F da equação.

Para a determinação do modelo da estimativa da quantidade de carbono nas folhas do Camboatá-branco, foi inserida apenas a variável h_c² a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,5% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b₁) o valor de F' foi igual a 57,78. O erro padrão da estimativa foi de apenas 0,022 Kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,948, indicando uma excelente precisão e ótimo ajuste.

Tabela 3- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de *Matayba elaeagnoides*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro (DAP) das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _{gv} = b0 + b1 d ²	b0= -0,30132	0,71172	0,18	0,7006	0,7871	1,001	11,09
		b1= 0,01760	0,00528	11,09	0,0447			

Sendo: C_{gv}= quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Na fração galhos vivos (Tabela 3) foi inserida apenas a variável d² a um nível de tolerância de 0,5% para as estimativas da quantidade de carbono alocado nesta fração. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,6% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 11,9. O erro padrão da estimativa foi de 1,001 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,78 indicando uma boa precisão.

Para galhos mortos dada a proximidade entre os valores estabelecidos pela correlação de Pearson, foi estabelecido a elaboração de modelos de dupla entrada contendo diâmetro (d) e altura de copa (h_c), para garantir uma maior precisão estatística, embora a maior interrelação apresentada foi para altura de copa. Na tabela 4, são apresentados os modelos desenvolvidos para galhos mortos.

Tabela 4- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos mortos por árvore de *Matayba elaeagnoides*, em quilogramas (kg), em função da altura de copa e do diâmetro (DAP) das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _{gm} = b0 + b1 h _c ²	b0= 0,05180	0,061	0,72	0,4848	0,8624	0,08019	12,54
		b1= 0,00897	0,003	12,54	0,0713			
02	C _{gm} = b0 + b1 h _c ² +b2 1/1,3-d	b0= -0,32907	0,018	347,56	0,0341	0,9997	0,005	1.781,62
		b1= 0,01542	0,000	2.137,2	0,0138			
		b2= -1,70898	0,077	489,40	0,0288			

Sendo: C_{gm}= quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (kg); h_c= altura de copa (m); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

No passo 1, para a estimativa da quantidade de carbono na fração galhos mortos (Tabela 4), foi incluída a variável h_c^2 . O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível 99,7% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b_1 o valor de F' foi igual a 12,54.

No passo 2, foi incluída a variável independente $1/1,3-d$, sendo o valor do teste F' do parâmetro b_2 , vinculado à variável, foi igual a 489,4, também significativo ao nível de 99,9% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,005 kg de carbono por árvore, e o coeficiente de determinação foi de 0,99. No passo 3, a inclusão de mais uma variável independente no modelo não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Dados os parâmetros estatísticos F calculado da regressão e os valores de F' para os coeficientes da equação apresentaram maior precisão no passo 2. Assim, selecionou-se a referida equação para a estimativa da quantidade de carbono contida na fração galhos morta em *Matayba elaeagnoides*.

Tabela 5- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração casca por árvore de *Matayba elaeagnoides*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro (DAP) das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R^2	S_{yx}	F
		B_j	$S_{yx} B_j$	F'	Prob>F			
01	$C_c = b_0 + b_1 d$	$b_0 = -0,97355$ $b_1 = 0,23812$	0,35529 0,03472	7,51 47,04	0,0713 0,0063	0,9400	0,2953	47,04

Sendo: C_c = quantidade de carbono na fração madeira por árvore (kg); d = diâmetro à altura do peito (cm); B_j = parâmetros da equação; $S_{yx} B_j$ = erro padrão dos parâmetros estimados B_j ; F' = valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F = valor de F da equação.

Nas estimativas do modelo para a quantidade de carbono para a fração cascas (Tabela 5) foi inserida apenas a variável d^2 a um nível de tolerância de 0,5% para as estimativas da quantidade de carbono alocado nesta fração. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b_1) o valor de F' foi igual a 47,04. O erro padrão da estimativa foi de 0,2953 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,94 indicando uma boa precisão para o modelo.

Tabela 6- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore *Matayba elaeagnoides*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro (DAP) das árvores.

Passo N°	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _m = b ₀ + b ₁ d ²	b ₀ = -1,35863	0,89046	2,33	0,2245	0,9851	1,2522	198,16
		b ₁ = 0,09307	0,00661	198,16	0,0008			

Sendo: C_m= quantidade de carbono na fração madeira por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Nas estimativas para o modelo da quantidade de carbono para a fração madeira (Tabela 6) foi inserida apenas a variável d² a um nível de tolerância de 0,5% para as estimativas da quantidade de carbono alocado nesta fração. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b₁) o valor de F' foi igual a 198,16. O erro padrão da estimativa foi de 1,2522 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,98 indicando uma boa precisão para o modelo.

Na Tabela 7, são apresentados os modelos matemáticos selecionados e seus parâmetros estatísticos obtidos para estimativa de carbono orgânico nos diferentes compartimentos da biomassa aérea da espécie Camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides*).

Tabela 7- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para a estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de *Matayba elaeagnoides* em fase sucessional secundária na Floresta Estacional Decidual, Santa Tereza, RS.

Fração	Modelo	B _j	R ²	F	S _{yx}
Folhas	C _f = b ₀ + b ₁ h _c ²	b ₀ = 0,00192 b ₁ = 0,00424	0,9469	53,50	0,023
Galhos mortos	C _{gm} = b ₀ + b ₁ h _c ² + b ₂ 1/1,3-d	b ₀ = -0,32907 b ₁ = 0,01542 b ₂ = -1,70898	0,9997	1.781,62	0,005
Cascas	C _c = b ₀ + b ₁ d	b ₀ = -0,97355 b ₁ = 0,23812	0,9400	47,04	0,295
Galhos vivos	C = b ₀ + b ₁ d ²	b ₀ = -0,30132 b ₁ = 0,01760	0,7871	11,09	1,001
Madeira		b ₀ = -1,35863 b ₁ = 0,09307	0,9851	198,16	1,252

Sendo: C= quantidade de carbono nas diferentes frações por árvore (kg); h_c= altura de copa (m) d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F calculado da equação.

A visualização do ajuste dos modelos de quantidade de carbono para a biomassa aérea de *Matayba elaeagnoides* em seus diferentes compartimentos como nas árvores-amostras, pode ser verificada através da Figura 4, onde se pode notar o eficiente ajuste oferecido pelos modelos selecionados.

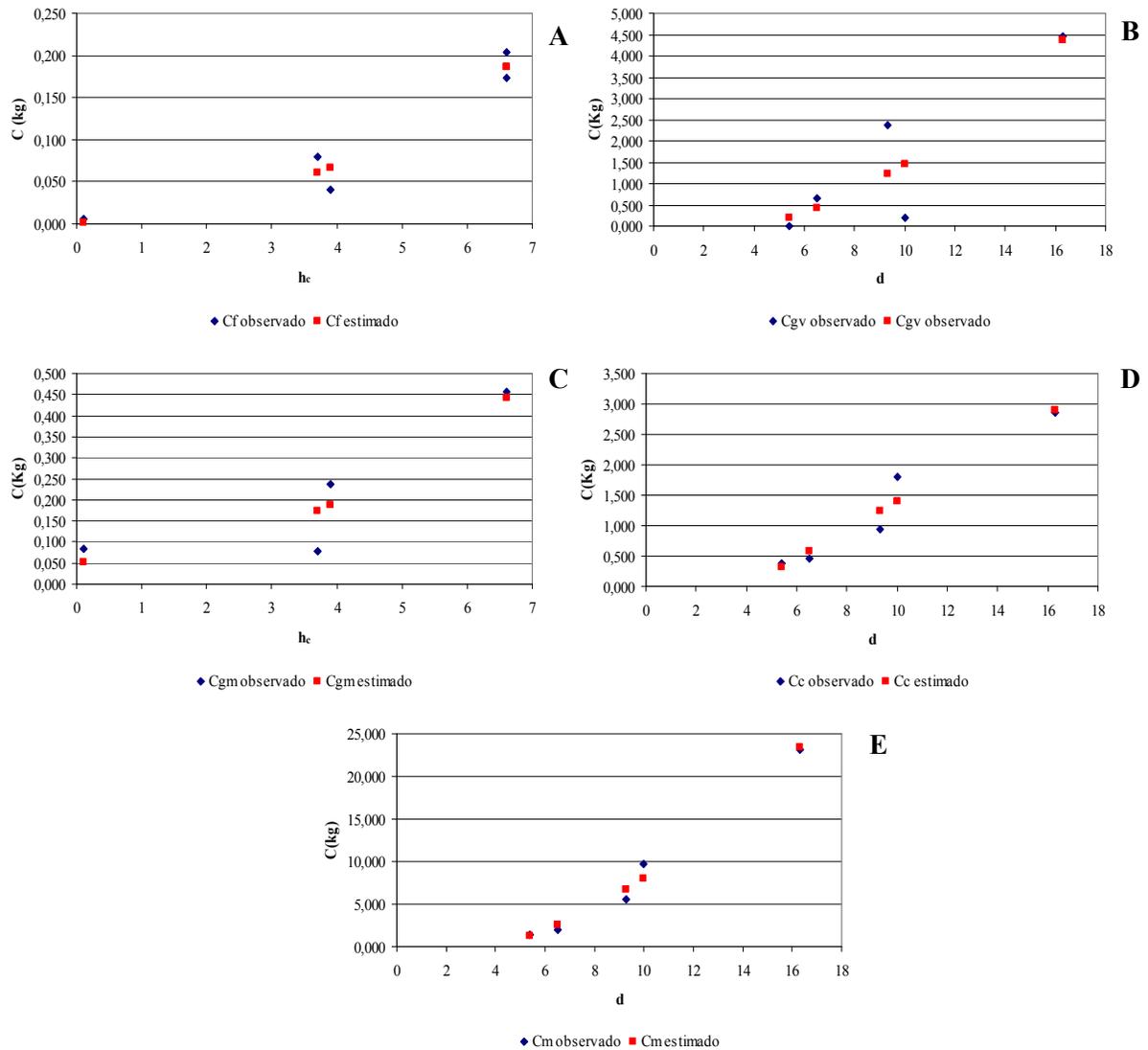


Figura 4- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea do *Matayba elaeagnoides* em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) galhos mortos, D) cascas e E) madeira.

Na Tabela 8 apresenta-se o conteúdo de carbono estocado na biomassa aérea em seus diferentes compartimentos com base nos modelos matemáticos estimados para as mesmas.

Tabela 8- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de *Matayba elaeagnoides* no período de 1996 a 2003 na Floresta Estacional Decidual, do município de Santa Tereza, RS.

Ano	Frações (kg ha^{-1})						Nº árv ha^{-1}
	Folhas	G. vivo	G. morto	Casca	Madeira	Biomassa	
1996	8,4	225,5	26,1	190,2	1.233,2	1.683,4	175
1999	10,6	238,4	30,6	197,0	1.300,4	1.777,0	170
2003	6,1	256,4	20,0	203,7	1.389,8	1.876,0	145
Média	8,4	240,1	25,6	196,7	1.307,8	1.778,8	163
IMC ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	-0,3	4,4	-0,9	1,9	22,4	27,5	-

Com base na quantidade acumulada observa-se que a fração com o maior potencial de acúmulo na espécie foi a madeira, a qual representou em média 73,5% do carbono orgânico acumulado para o *Matayba elaeagnoides*, seguido da fração galhos vivos, com 13,5%, sendo que as demais frações (folhas, galhos mortos e cascas), juntas alocaram apenas 13,0% do carbono da biomassa total.

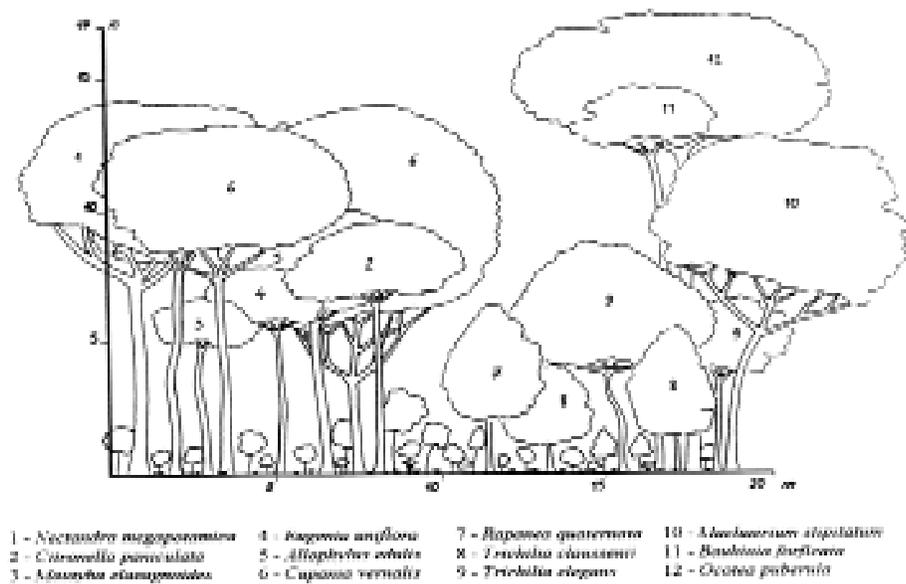
Outro detalhe bastante importante foi o decréscimo de carbono alocado nas frações folhas e galhos mortos, que resultaram respectivamente em incrementos médios de $-0,3 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $-0,9 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que as frações como galhos vivos e madeira obtiveram incrementos de $4,4 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $22,4 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que indica a evolução da floresta a um estágio florestal mais avançado.

Conforme Larcher (2000), as comunidades em estágios de sucessão inicial, passam por uma fase de construção da comunidade (fase de crescimento), onde é pequena a massa de caules e raízes, que é dependente dos assimilados produzidos pelas folhas, durante a fase jovem da planta, o que leva a uma produção primária alta e a um excedente de substâncias orgânicas, assim toda a comunidade cresce rapidamente. Porém, com o envelhecimento, caminha-se para a fase madura, na qual o componente “biomassa” se mantém, primeiramente positivo, e mais tarde, tende a um valor nulo. Portanto, quanto maior o porte da árvore, mais desfavorável se torna a relação entre os tecidos verdes (folhas) e não-verdes (madeira, casca e galhos), resultando num ganho fotossintético suficiente apenas para repor a folhagem e manter a respiração de uma enorme massa de caules, ramos e raízes em crescimento.

A condição enunciada vem se confirmar através dos estudos de Vaccaro (2002), quando afirma que o crescimento da floresta secundária da presente área, em relação a um estágio sucessional de capoeirão adjacente, com cerca de 30 anos de abandono de uso, foi de -2,55% em relação ao capoeirão e que a grande mortalidade de indivíduos neste grupo de sucessão conduz à mesma para um estágio sucessional posterior, como pode ser observado para a presente espécie, que apresenta uma taxa de mortalidade de 3,3% e a taxa de ingresso de novos indivíduos na espécie foi de apenas 0,8% durante o período de estudo.

Brun (2004) relatou que a quantidade de carbono orgânico alocadas nas raízes grossas e finas na floresta secundária é de 17,6 Mg ha⁻¹, enquanto que no estágio sucessional anterior (capoeirão) é de apenas 13,5 Mg ha⁻¹, reforçando a tendência proposta, de que a espécie se encontraria no seu estado maduro dentro da sucessão, onde os aportes de carbono orgânico são essencialmente translocados para a manutenção e formação dos tecidos do fuste e raízes.

Além disso, ao observar o modelo estrutural (Figura 5) da floresta secundária, proposto por Vaccaro (1997), vê-se que a referida espécie, dentro da sucessão, apresenta-se no estrato intermediário, comportando-se como em constante competição, principalmente por luz. Isso resulta em um desenvolvimento de copas de pequena proporção ao longo do seu crescimento, o que explica o incremento negativo de carbono em folhas e a grande abscisão de galhos mortos da copa, que se tornam a principal fonte de carbono para o solo, pois são frações com curto período relativamente curto de decomposição, o que colocaria a espécie no presente momento, como uma estocadora, pois as emissões oriundas do processo de decomposição das frações seriam compensadas pelo potencial de acúmulo das outras espécies da sucessão.



Fonte: Vaccaro (1997).

Figura 5- Perfil estrutural de um trecho da Floresta Secundária estudada.

Na Tabela 9 apresenta-se um comparativo do potencial de estoque de carbono de *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco) em diferentes formações florestais naturais com diferentes graus de perturbação.

Tabela 9- Conteúdo de carbono orgânico estocado (Kg ha^{-1}) nos diferentes compartimentos da biomassa de *Matayba elaeagnoides* em Floresta Estacional Decidual e Floresta Ombrófila Mista.

Formação Florestal	Fração (Kg ha^{-1})					Nº árv ha^{-1}	Referência
	Folha	Galho vivo	Galho morto	Casca	Madeira		
Floresta Estacional Decidual	6,1	256,4	20,0	203,7	1.389,8	145	Este estudo
Floresta Ombrófila Mista (RS)	9,2	67,6	0,08	27,6	8,0	50	Medeiros (2004)
Floresta Ombrófila Mista (PR)	6,1	99,9	102,5	38,0	227,2	07	Watzlawick et al. (2004)

Analisando-se o potencial de estoque de carbono, na fração galhos mortos, verifica-se que a mesma é extremamente sensível às perturbações, pois à medida que se reduz o grau de perturbação da floresta, maior a quantidade de carbono na fração. O estudo de Medeiros (2004) aponta o acúmulo de carbono na regeneração natural, em uma formação nativa altamente

perturbada, após 20 anos de ações antrópicas, onde a espécie, durante a dinâmica apresentou-se com árvores de diâmetros variando entre 3,2 e 4,8 cm; chegou-se a um valor de apenas 0,08 Kg C ha⁻¹, enquanto no presente estudo, onde o tempo transcorrido pela perturbação é de entorno de 50 anos observou-se um valor de 20,0 Kg C ha⁻¹. No estudo de Watzlawick et al. (2004), onde foi evidenciado um menor grau de degradação, o acúmulo na fração galhos mortos é de 102,5 Kg C ha⁻¹.

Com base no perfil estrutural de uma floresta natural em estágio de sucessão avançada floresta proposto por Vaccaro (1997), observa-se que a espécie não se apresenta no grupo formador dos estratos. O autor coloca ainda que, na mudança do estágio secundário para o maduro, nota-se uma redução de 50% no número de indivíduos por hectare, e que as maiores taxas de mortalidade são de indivíduos pertencentes ao grupo ecológico secundário tardio, o qual a presente espécie pertence, o que pode indicar o declínio da espécie dentro da formação florestal, com o seguimento da sucessão.

A fração folhas demonstrou um comportamento estático para o estoque de carbono quando comparadas às formações florestais em seus diferentes estágios de sucessão. As demais frações (galhos vivos, casca e madeira) mantiveram uma tendência ascendente no acúmulo.

4.1.2 Acúmulo de carbono em Canela-do-brejo (*Machaerium paraguariense* Hassl.)

A Tabela 10 apresenta as correlações de Pearson, estabelecidas entre as quantidades de carbono observadas nas árvores amostradas e as variáveis dendrométricas mensuradas para a construção dos modelos matemáticos para a estimativa nas diferentes frações formadoras da biomassa na espécie.

Tabela 10- Correlação entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de *Machaerium paraguariense* (Canela-do-brejo) com as variáveis mensuradas.

Fração	d	hc	ht
Folhas	0,617	0,666	
Galhos vivos	0,479	0,900	
Casca	0,925		0,939
Madeira	0,821		0,848

Observando-se a Tabela 10, verifica-se que o carbono das frações galhos vivos e folhas apresentaram uma inter-relação maior com a altura de copa, dado que quanto maior este

parâmetro mensurável maior será a quantidade de carbono alocada na fração. Por outro lado, o carbono do fuste (casca e madeira) representou maior correlação com a altura total das árvores, situação inversa observada em *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco) que para as referidas frações apresentou maior inter-relação com o diâmetro.

Porém, durante a elaboração das equações para a determinação da quantidade de carbono na fração folhas, que apresentou a maior inter-relação com a altura de copa (h_c), os modelos gerados apresentaram parâmetros estatísticos de baixa precisão, principalmente o coeficiente de determinação (R^2). Assim, optou-se pela elaboração de um modelo de dupla entrada com ambas variáveis compondo o modelo, no caso altura de copa e diâmetro. Portanto, para a estimativa da quantidade de carbono orgânico na fração folhas da Canela-do-brejo, obteve-se o modelo matemático da Tabela 11, por meio da opção *forward*.

Tabela 11- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore *Machaerium paraguariense*, em quilogramas (kg), em função da altura de copa e diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R^2	S_{yx}	F
		B_j	$S_{yx} B_j$	F'	Prob>F			
01	$\ln C_f = b_0 + b_1 d^2 h_c$	$b_0 = -10,1310$ $b_1 = 1,21783$	1,62358 0,33816	39,01 12,97	0,0247 0,0692	0,8664	0,3675	12,97

Sendo: C_f = quantidade de carbono na fração folhas por árvore (kg); h_c = altura de copa (m); d =diâmetro à altura do peito (cm); B_j = parâmetros da equação; $S_{yx} B_j$ = erro padrão dos parâmetros estimados B_j ; F' = valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; $Prob>F$ = probabilidade maior que o valor de F calculado; R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa, expresso em logaritmo de kg; F = valor de F da equação.

Nas estimativas da quantidade de carbono alocada na fração folhas foi inserida apenas a variável $d^2 h_c$ a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b_1) o valor de F' foi igual a 12,97. O erro padrão da estimativa foi de 0,3675, expresso em logaritmo de kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,86 indicando uma boa precisão para o modelo.

Na Tabela 12, demonstram-se os modelos matemáticos e seus respectivos parâmetros estatísticos para a estimativa da quantidade de carbono alocada na fração galhos vivos de *Machaerium paraguariense*.

Tabela 12- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de *Machaerium paraguariense*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo N°	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	ln C _{gv} = b0 + b1 1/d ²	b0= -0,20221	0,46799	0,19	0,6948	0,9776	0,32491	131,04
		b1= -15,9988	7,87262	4,13	0,1351			
02	ln C _{gv} = b0 + b1 d ² +b2 1/d ²	b0= 4,04602	0,94280	18,42	0,0502	0,9634	0,18088	26,31
		b1= -0,09165	0,02001	20,98	0,0445			
		b2= -52,8216	8,52790	38,37	0,0251			

Sendo: C_{gv}= quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (Kg); d=diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em logaritmo de kg; F= valor de F da equação.

No passo 1 do procedimento *forward* para o logaritmo da quantidade de carbono na fração galhos vivos, foi incluída a variável 1/d². O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível de 99,5% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b1 o valor de F' foi igual a 4,13.

No passo 2, foi incluída a variável independente d², sendo o valor do teste F' do parâmetro b2, vinculado à variável diâmetro ao quadrado, foi igual a 38,37, também significativo ao nível de 99,9% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,18088, expresso em logaritmo de quilogramas e o coeficiente de determinação foi de 0,96. No passo 3, a inclusão de mais uma variável independente no modelo não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Com base nos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 12, foi selecionada a equação do passo 02 para estimativa da quantidade de carbono estocada na fração galhos vivos, dado seu menor erro padrão da estimativa, que por sua vez gera estimativas mais precisas, em relação a equação do passo 01, embora o mesmo apresente os demais parâmetros estatísticos de menor valor em relação ao passo 01.

Tabela 13- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de *Machaerium paraguariense*, em quilogramas (kg), em função da altura total das árvores.

Passo N°	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _c = b0 + b1 h _t ²	b0= 0,01575	0,04261	0,14	0,7362	0,8894	0,0565	24,11
		b1= 0,00217	0,000441	24,11	0,0162			

Sendo: C_c= quantidade de carbono na fração cascas por árvore (kg); h_t= altura total da árvore (m); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Nas estimativas da quantidade de carbono alocado nas cascas (Tabela 13) foi inserida apenas a variável h_t² a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,6% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 24,11. O erro padrão da estimativa foi de 0,0565 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,88 indicando uma boa precisão para o modelo.

A Tabela 14 apresenta as equações e parâmetros estatísticos para a estimativa de quantidade de carbono orgânico na fração madeira da espécie *Machaerium paraguariense* (Canela-do-brejo).

Tabela 14- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de *Machaerium paraguariense*, em quilogramas (kg), em função da altura total das árvores.

Passo N°	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _m = b0 + b1 h _t ²	b0= -0,53678	0,83420	0,41	0,5657	0,7721	1,1065	10,16
		b1= 0,02754	0,00864	131,04	0,0498			
02	C _m = b0 + b1 h _t + b2 h _t ²	b0= -7,84132	6,40493	1,50	0,3455	0,8779	0,9917	7,19
		b1= -2,14399	1,62785	1,73	0,3185			
		b2= 0,14647	0,09063	2,61	0,2474			
03	C _m = b0 + b1 h _t + b2 h _t ² + b3 1/h _t	b0= 102,466	6,10618	281,59	0,0379	0,9995	0,090	664,23
		b1= -13,3403	0,73422	330,13	0,0350			
		b2 = 0,56402	0,02805	404,24	0,0316			
		b3 = -250,24	16,07472	242,33	0,0408			

Sendo: C_m= quantidade de carbono na fração madeira por árvore (kg); h_t= altura total da árvore (m); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

No passo 1 da equação para estimativa quantidade de carbono na fração madeira, foi incluída a variável h_t^2 . O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível 99,7% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b_1 o valor de F' foi igual a 131,04.

No passo 2, foi incluída a variável independente h_t , sendo o valor do teste F' do parâmetro b_2 , vinculado à variável diâmetro ao quadrado, foi igual a 2,61, também significativo ao nível de 99,7% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,9917 kg e o coeficiente de determinação foi de 0,87.

No passo 3, ocorreu a inclusão da variável $1/h_t$, que garantiu a elevação da precisão de todos os parâmetros e redução do erro padrão da estimativa para 0,090 kg. No passo 4, a inclusão de mais uma variável independente no modelo, não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Com base nos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 12, foi selecionada a equação do passo 03 para estimativa da quantidade de carbono estocada na fração madeira, dado seu menor erro padrão da estimativa e elevação dos demais parâmetros avaliados para seleção do modelo, que por sua vez gera estimativas mais precisas, em relação as equações anteriores (passos 1 e 2).

Na Tabela 15, são apresentados os modelos matemáticos selecionados e seus parâmetros estatísticos, obtidos para estimativa de carbono orgânico nos diferentes compartimentos da biomassa aérea da espécie *Machaerium paraguariense*.

Tabela 15- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de *Machaerium paraguariense* (Canela-do-brejo) em fase sucessional secundária em Floresta Estacional Decidual do Município de Santa Tereza, RS.

Fração	Modelo	B_i	R^2	F	S_{yx}
Folhas	$\ln C_f = b_0 + b_1 d^2 h_c$	$b_0 = -10,1310$ $b_1 = 1,21783$	0,8664	12,97	0,3675
Galhos vivos	$\ln C_{gv} = b_0 + b_1 d^2 + b_2 1/d^2$	$b_0 = 4,04602$ $b_1 = -0,09165$ $b_2 = -52,8216$	0,9634	26,31	0,18088
Casca	$C_c = b_0 + b_1 h_t^2$	$b_0 = 0,01575$ $b_1 = 0,00217$	0,8894	0,0565	24,11
Madeira	$C_m = b_0 + b_1 h_t + b_2 h_t^2 + b_3 1/h_t$	$b_0 = 102,466$ $b_1 = -13,3403$ $b_2 = 0,56402$ $b_3 = -250,24$	0,9995	0,090	664,23

Sendo: C= quantidade de carbono nas diferentes frações por árvore (kg); h_t = altura total da árvore (m); h_c = altura de copa (m); d= diâmetro à altura do peito (DAP) (cm); B_i = parâmetros da equação; R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa, expresso em (kg) para os modelos lineares, e em logaritmo de kg, para os modelos logarítmicos; F= valor de F da equação.

Para a Canela-do-brejo, ao contrário da espécie *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco), necessitou-se a elaboração de modelos diferenciados para todas as frações formadoras da biomassa aérea, sendo que estes modelos apresentaram-se de formas distintas, como modelos logarítmicos para as frações componentes da copa (folhas e galhos vivos) e lineares para o fuste (madeira e copa). A visualização do ajuste dos modelos de quantidade de carbono para a biomassa aérea da *Machaerium paraguariense* em seus diferentes compartimentos com base nas árvores-amostras, pode ser verificada através da Figura 6, onde se pode notar o eficiente ajuste oferecido pelos modelos selecionados.

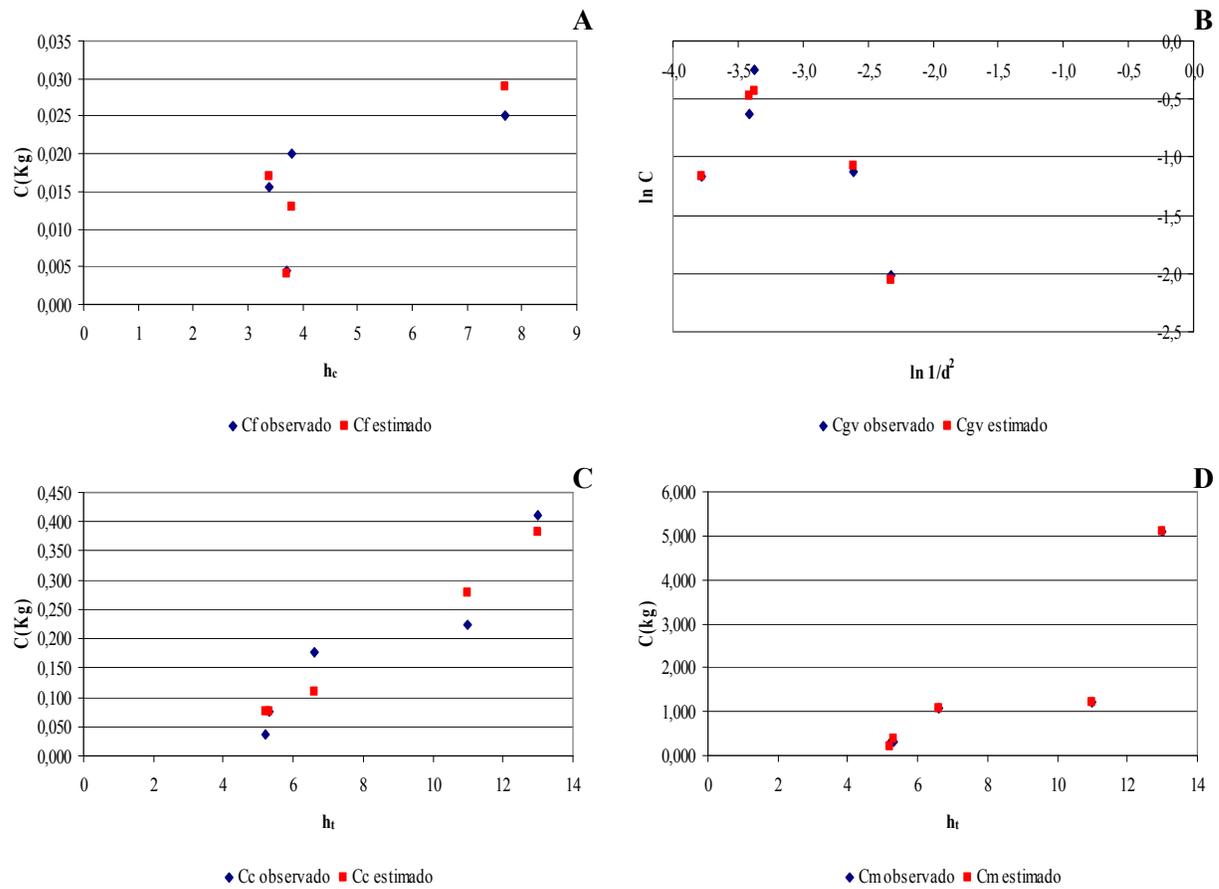


Figura 6- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea da Canela-do-brejo em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.

As estimativas da quantidade de carbono nas frações geradas a partir destes modelos ao longo do período de estudo apresentam-se na Tabela 16.

Tabela 16- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de *Machaerium paraguariense* no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual, do município de Santa Tereza, RS.

Ano	Frações (kg ha^{-1})					N° árv ha^{-1}
	Folhas	G. vivo	Casca	Madeira	Biomassa	
1996	2,5	100,2	27,0	171,3	301,0	220
1999	2,4	69,1	21,2	134,4	227,1	155
2003	1,2	41,1	16,5	143,8	202,6	95
Média	2,0	70,1	21,6	149,8	243,6	157
IMC ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	-0,20	-8,4	-1,5	-3,9	-14,1	-

Verificou-se que o maior acúmulo de carbono se deu na fração madeira, a qual representou, em média, 62,4% do carbono orgânico, os galhos vivos representaram 28,0%. As folhas e cascas juntas somaram apenas 9,6%, o que demonstra um comportamento semelhante ao ocorrido com o *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco), indicando que a espécie dentro da dinâmica da sucessão, apresenta-se em declínio, pois a taxa de mortalidade alcança um valor de 8,1%, enquanto que a taxa de ingresso verificada foi nula, refletindo diretamente no potencial de acúmulo de carbono de todas as frações da espécie que se apresentaram negativos.

Higuchi et al. (2004) afirmam que o balanço de carbono em florestas naturais depende diretamente das taxas de mortalidade e ingresso de indivíduos, pois, em geral, o diâmetro das árvores mortas é sempre maior que o das árvores que ingressaram no grupo ecológico e, por essa razão, o crescimento interno (mudança de classes de diâmetro) precisa compensar as perdas causadas pela mortalidade para que o ecossistema tenha um saldo positivo para sua qualificação como fixador de carbono e não como fonte.

Watzlawick et al. (2004), estudando o acúmulo de carbono nas espécies componentes de uma formação de Floresta Ombrófila Mista no Paraná, observaram que, para *Mimosa scabrella* Benth. (bracatinga), também pertencente à Família Leguminosae, a quantidade estocada foi de 15,3 Kg ha^{-1} nas folhas, 207,3 Kg ha^{-1} nos galhos vivos, 212,2 Kg ha^{-1} nos galhos mortos, 23,5 Kg ha^{-1} na casca e 240,5 Kg ha^{-1} de carbono na madeira, valores este que condizem, proporcionalmente, aos encontrados no presente estudo para canela-do-brejo.

Embora as condições edáficas da área estudada favoreçam o desenvolvimento da espécie, que segundo Lorenzi (1998) se desenvolve muito bem em terrenos pedregosos, como se observa

pelo número de indivíduos ha^{-1} no primeiro período de estudo, que era de 220, a sua restrição à luz, intensificada ao longo da sucessão, levou ao declínio da espécie, por ser a mesma uma secundária inicial e representante da Família Leguminosae, que, em geral, são espécies de um ciclo de vida mais curto e necessitam de grandes taxas de irradiância para seu desenvolvimento pleno, o que foi extremamente limitado ao longo da evolução da sucessão, e, portanto, mesmo a espécie apresentando por característica a produção de uma grande quantidade de sementes viáveis (Lorenzi, 1998), não havia condições básicas para o desenvolvimento do banco de plântulas, ocasionando o fato da espécie chegar em 2003 com apenas 95 indivíduos por hectare, tornando a mesma uma fonte de carbono ao ciclo do elemento.

4.1.3 Acúmulo de carbono em Catiguá-vermelho (*Trichilia claussenii* C. DC.)

A Tabela 17 apresenta as correlações de Pearson, estabelecidas entre as quantidades de carbono, observadas nas árvores amostradas e as variáveis dendrométricas, mensuradas para a construção dos modelos matemáticos para a estimativa nas diferentes frações formadoras da biomassa de *Trichilia claussenii*.

Tabela 17- Correlação entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de *Trichilia claussenii* (Catiguá-vermelho) com as variáveis mensuradas.

Fração	d	hc	ht
Folhas	0,915	0,683	
Galhos vivos	0,957	0,842	
Casca	0,971		0,951
Madeira	0,970		0,920

A quantidade de carbono para todas as frações das árvores de *Trichilia claussenii* (Catiguá-vermelho) apresentou inter-relações elevadas com o diâmetro, o que garante que à medida que se aumenta a variável, há um aumento na quantidade de carbono estocado na espécie.

Para a estimativa da quantidade de carbono orgânico na fração folhas do Catiguá-vermelho obteve-se, com base no procedimento stepwise opção forward, o modelo matemático descrito na Tabela 18.

Tabela 18- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de *Trichilia clausenii*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _f = b0 + b1 d	b0= -0,47901	0,27892	2,95	0,1844	0,8380	0,1424	15,51
		b1= 0,20258	0,05143	15,51	0,0292			

Sendo: C_f= quantidade de carbono na fração folhas por árvore (kg); d=diâmetro à altura do peito (DAP) (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Nas estimativas para folhas foi inserida apenas a variável d a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 15,51. O erro padrão da estimativa foi de 0,1424 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,83 indicando uma boa precisão para o modelo.

Tabela 19- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de *Trichilia clausenii*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	ln C _{gv} = b0 + b1 d	b0= -3,41210	0,12458	750,17	0,0001	0,9956	0,064	680,26
		b1= 0,59912	0,02297	680,26	0,0001			
02	ln C _{gv} = b0 + b1 d +b2 1/1,3-d	b0= -4,29311	0,95802	20,08	0,0464	0,9969	0,065	324,80
		b1= 0,69966	0,11087	39,82	0,0242			
		b2= -1,23954	1,33588	0,86	0,0451			

Sendo: C_{gv}= quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (DAP) (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em logaritmo kg; F= valor de F da equação.

Para a estimativa do logaritmo da quantidade de carbono na fração galhos vivos, foi incluída (Tabela 19) a variável d no passo 1. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b1 o valor de F' foi igual a 680,26.

No passo 2, foi incluída a variável independente 1/d-1,3, sendo o valor do teste F' do parâmetro b2, vinculado à variável diâmetro ao quadrado, foi igual a 0,86, também significativo ao nível de 99,9% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,065,

expresso em logaritmo de quilogramas e o coeficiente de determinação foi de 0,99. No passo 3, a inclusão de mais uma variável independente no modelo não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

De acordo com a significância dos parâmetros estatísticos calculados na regressão, o valor de F, o erro padrão da estimativa e também os valores de F' para os coeficientes da equação selecionou-se a equação do passo 01 para a estimativa da quantidade de carbono contida na fração galhos vivos.

Na Tabela 20, verifica-se a equação matemática e seus parâmetros para estimativa da quantidade de carbono contida na fração cascas.

Tabela 20- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de *Trichilia clausenii*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _c = b0 + b1 1/d	b0= 0,54082	0,03064	311,5	0,0004	0,9772	0,0172	128,65
		b1= -1,66944	0,14719	128,2	0,0015			

Sendo: C_c= quantidade de carbono na fração cascas por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Na estimativa da quantidade de carbono da fração cascas de *Trichilia clausenii* (Cátigua-vermelho) foi inserida apenas a variável 1/d a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 128,65. O erro padrão da estimativa foi de 0,0172 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,97 indicando uma boa precisão para o modelo.

Tabela 21- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de *Trichilia clausenii*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo N°	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	ln C _m = b0 + b1	b0= 1,82692	0,10563	299,1	0,0004	0,9791	0,1095	140,48
	1/d ²	b1= -25,5884	2,15889	140,5	0,0013			

Sendo: C_m= quantidade de carbono na fração madeira por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em logaritmo de kg; F= valor de F da equação.

Nas estimativas da quantidade de carbono para folhas em *Trichilia clausenii* (Cátigua-vermelho) foi inserida apenas a variável 1/d² a um nível de tolerância de 0,5% (Tabela 21). O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 140,48. O erro padrão da estimativa foi de 0,1095, expresso em logaritmo de quilogramas de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,98 indicando uma excelente precisão estatística e ajuste para o modelo.

A Tabela 22 apresenta os modelos matemáticos selecionados e seus parâmetros estatísticos obtidos para estimativa de carbono orgânico nos diferentes compartimentos da biomassa aérea em *Trichilia clausenii*.

Tabela 22- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de *Trichilia clausenii* (Cátigua-vermelho) em fase sucessional secundária de um Floresta Estacional Decidua em Santa Tereza, RS.

Fração	Modelo	B _j	R ²	F	S _{yx}
Folhas	C _f = b0 + b1 d	b0= -0,47901 b1= 0,20258	0,8380	15,51	0,142
Galhos vivos	ln C _{gv} = b0 + b1 d	b0= -3,41210 b1= 0,59912	0,9956	680,26	0,064
Casca	C _c = b0 + b1 1/d	b0= 0,54082 b1= -1,66944	0,9772	128,65	0,017
Madeira	ln C _m = b0 + b1 1/d ²	b0= 1,82692 b1= -25,5884	0,9791	140,48	0,101

Sendo: C= quantidade de carbono nas diferentes frações por árvore (Kg); d= diâmetro à altura do peito (DAP) (cm); B_j= parâmetros da equação; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (Kg) para os modelos lineares, e em logaritmo de Kg, para os modelos logarítmicos; F= valor de F da equação.

A visualização do ajuste dos modelos de quantidade de carbono para a biomassa aérea de *Trichilia clausenii* (Catiguá-vermelho) em seus diferentes compartimentos com base nas árvores-amostras, pode ser verificada através da Figura 7, onde se pode notar o eficiente ajuste oferecido pelos modelos selecionados.

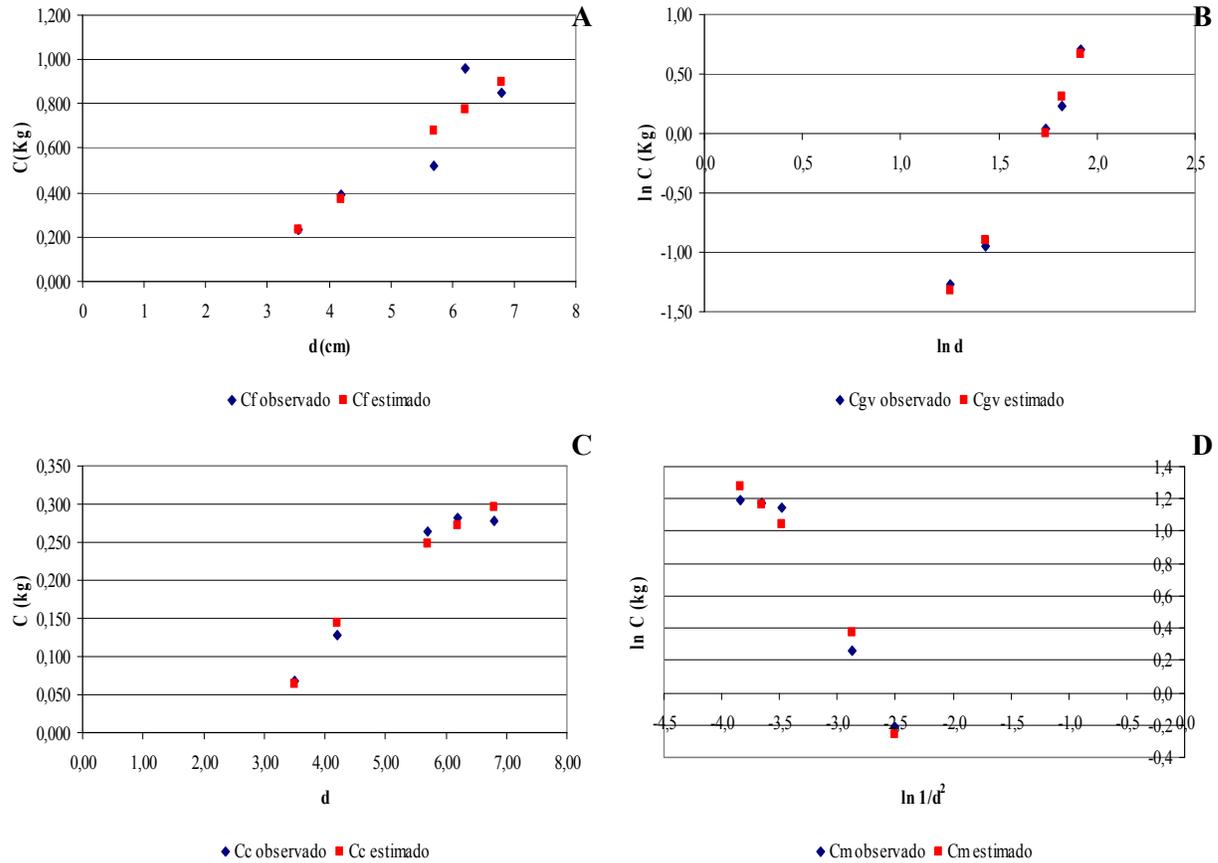


Figura 7- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de *Trichilia clausenii* (Catiguá-vermelho) em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.

A Tabela 23 demonstra as quantidades estimadas de carbono orgânico para as diferentes frações da biomassa aérea em *Trichilia clausenii* ao longo do período de estudo.

Tabela 23- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de *Trichilia clausenii* (Catiguá-vermelho) no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.

Ano	Frações (kg ha^{-1})					N° árv ha^{-1}
	Folhas	G. vivo	Casca	Madeira	Biomassa	
1996	26,6	34,8	8,8	99,4	169,6	80
1999	51,6	71,8	17,3	196,0	336,7	145
2003	96,8	192,1	33,1	347,6	669,6	195
Média	58,3	99,6	19,7	214,3	392,0	140
IMC ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	10,0	22,5	3,5	35,5	71,4	-

O acúmulo de carbono orgânico apresentou-se maior na fração madeira, a qual representou em média 56,2% do carbono orgânico acumulado, seguido da fração galhos vivos 23,5%, folhas 15,2% e a casca com 5,1% do carbono alocado na biomassa total.

Comparando com as espécies anteriormente analisadas *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco) e *Machaerium paraguariense* (Canela-do-brejo), observou-se que a *Trichilia clausenii* apresentou tendência inversa quanto às frações formadoras da copa, que possuem um incremento positivo principalmente para a fração galhos vivos, de $22,5 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e folhas, que foi de $10,0 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Tal fato se atribui a sua posição sociológica dentro do mosaico da floresta, que é de sub-bosque, onde ocorre maior competição entre os indivíduos formadores deste estrato. Portanto, para que haja seu pleno desenvolvimento necessita-se da formação de ampla copa para competir pela energia solar difusa que penetra pelo dossel dos estratos superiores. Além da elevada taxa de ingresso de indivíduos, que garante um grande incremento no potencial de estoque de carbono pela espécie, pois a mesma encontra-se na fase de desenvolvimento dentro da sucessão ecológica.

A aclimatação de plantas à quantidade de luz incidente ocorre no sentido de maximizar o ganho total de carbono, que pode ser através de dois caminhos: a) mudanças nas propriedades de assimilação de carbono pelas folhas, envolvendo ajustes fisiológicos e morfológicos, como maior alocação de biomassa e carbono para as folhas em relação às raízes, portanto aumentando a área foliar, que resulta em folhas mais finas e maiores, ou b) através da mudança no padrão de alocação de biomassa em favor da parte mais severamente afetada pela mudança, como o alongamento do caule em baixa irradiância, que permite acesso mais rápido à luz, quando ocorre

sombreamento por outras espécies que demandam alta irradiância para seu crescimento (Duz et al., 2004).

Neste sentido se explica também o alto incremento de carbono na madeira, que é de 35,5 Kg C ha ano⁻¹, e a sua inversão na representatividade na biomassa de *Trichilia clausenii*, ao longo do período, o que se deve ao grande número médio de indivíduos na fase sucessional estudada, para que se garanta a perpetuidade da espécie dentro da sucessão.

Outro aspecto interessante seria quanto ao incremento de carbono na casca, que corresponde a 3,5 Kg C ha ano⁻¹, que pode representar um alto potencial desta espécie converter este elemento para a formação de taninos. Monteiro et al. (2005) colocam que a produção destes compostos está diretamente interligada à capacidade das espécies vegetais em acumular carbono orgânico em seus tecidos, pois os taninos resultam do metabolismo secundário dos vegetais, e são compostos fenólicos de grande interesse econômico e ecológico, em especial para o Rio Grande do Sul, para o curtimento do couro. Conforme Longhi (1995), a espécie apresenta a casca rica em tanino, porém, a mesma não é empregada para tal atividade.

Portanto, em vista disto recomenda-se a realização de estudos para uma avaliação do potencial da espécie, além de seqüestro de carbono, na recuperação de fragmentos florestais, e principalmente para a produção de tanino, na quantificação do teor e quantidade do elemento, para então, por meio de técnicas de melhoramento genético, aumentar sua produtividade. Assim, as pequenas propriedades rurais, poderiam, pelo uso do manejo florestal sustentável, e através do enriquecimento de suas florestas degradadas, obter rendimentos com usos múltiplos de seus fragmentos florestais nativos.

As condições ambientais da floresta, como a presença de um solo raso e pedregoso e sua inclinação, são os principais fatores que influenciaram a quantidade de carbono estocadas pela espécie, pois conforme Lorenzi (1998), a espécie apresenta-se como preferencial em solos pedregosos e topos de morros, onde pode até mesmo tornar-se dominante, situação esta observada, no presente estudo, pois a espécie apresenta uma taxa de ingresso de indivíduos na sucessão de 22,3% e uma mortalidade de apenas 1,8%, o que por sua vez qualifica a espécie como uma fixadora de carbono na sucessão.

4.1.4 Acúmulo de carbono em Chal-chal (*Allophylus edulis* (A. St. Hill. Et al.) Radlk.)

A Tabela 24 apresenta as correlações de Pearson, estabelecidas entre as quantidades de carbono, observadas nas árvores amostradas e as variáveis dendrométricas, mensuradas para a construção dos modelos matemáticos para a estimativa nas diferentes frações formadoras da biomassa em *Allophylus edulis*.

Tabela 24- Correlação entre as quantidades de carbono observadas nas diferentes frações da biomassa de *Allophylus edulis* (Chal-chal) com as variáveis mensuradas.

Fração	d	h _c	h _t
Folhas	0,968	0,251	
Galhos vivos	0,996	0,452	
Galhos mortos	-0,532	0,949	
Casca	0,966		0,865
Madeira	0,986		0,702

Observou-se as maiores inter-relações da quantidade de carbono das frações da biomassa aérea da árvore com o diâmetro, que por sua vez determinou sua importância na construção de equações para a quantificação de carbono, com exceção da fração galhos mortos, que apresentou uma correlação inversa e uma alta inter-relação com a variável altura de copa, qualificando a mesma para a construção das equações de estimativa de carbono na fração.

Tabela 25- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de *Allophylus edulis*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _f = b ₀ + b ₁ d ³	b ₀ = 0,02320	0,00330	49,46	0,7362	0,9980	0,006	24,11
		b ₁ = 0,00022	0,000006	1.521,5	0,0162			

Sendo: C_f = quantidade de carbono na fração folhas por árvore (kg); d = diâmetro à altura do peito (DAP) (cm); B_j = parâmetros da equação; S_{yx} B_j = erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F' = valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F = probabilidade maior que o valor de F calculado; R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F = valor de F da equação.

Para a estimativa da quantidade de carbono alocado nas folhas das árvores de *Allophylus edulis* (Chal-chal), foi inserida apenas a variável d³ a um nível de tolerância de 0,5% (Tabela 25). O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,6% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b₁) o valor de F' foi

igual a 24,11. O erro padrão da estimativa foi de 0,006 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,99 indicando uma excelente precisão estatística e ajuste para o modelo.

Na Tabela 26, são demonstrados os parâmetros estatísticos e respectivas equações gerados na opção “forward” para a fração galhos vivos da espécie.

Tabela 26- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de *Allophylus edulis*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _{gv} = b0 + b1 d	b0= -1,80904	0,18514	95,48	0,0023	0,9930	0,1701	424,14
		b1= 0,58717	0,02851	424,14	0,0003			
02	C _{gv} = b0 + b1 d +b2 d ²	b0= -1,08336	0,59958	3,26	0,2125	0,9961	0,1554	254,69
		b1= 0,03414	0,19655	3,02	0,2245			
		b2= 0,01730	0,01371	1,59	0,3343			

Sendo: C_{gv}= quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (kg); d=diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

No passo 1, para a estimativa da quantidade de carbono na fração galhos vivos, foi incluída a variável d. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b1 o valor de F' foi igual a 424,14.

No passo 2, foi incluída a variável independente d², sendo o valor do teste F' do parâmetro b2, vinculado à variável diâmetro ao quadrado, foi igual a 1,59, também significativo ao nível de 99,7% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,1554 kg de carbono por árvore, e o coeficiente de determinação foi de 0,99. No passo 3, a inclusão de mais uma variável independente no modelo não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Dados os parâmetros estatísticos F calculado da regressão e os valores de F' para os coeficientes da equação apresentaram maior precisão no passo 1. Assim, selecionou-se a referida equação para a estimativa da quantidade de carbono contida na fração galhos vivos em *Allophylus edulis*.

Tabela 27- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos mortos por árvore de *Allophylus edulis*, em quilogramas (kg), em função da altura de copa das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _{gm} = b0 + b1 1/h _c ²	b0= 0,04229	0,00522	65,59	0,0782	0,9501	0,003	19,04
		b1= -0,7150	0,016389	19,04	0,1434			

Sendo: C_{gm}= quantidade de carbono na fração folhas por árvore (kg); h_c= altura de copa (m); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Para a estimativa dos galhos mortos (Tabela 27) foi inserida apenas a variável 1/h_c² a um nível de tolerância de 0,5% para as estimativas da quantidade de carbono alocado nesta fração. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 19,04. O erro padrão da estimativa foi de 0,003 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,95, indicando uma excelente precisão estatística e ajuste para o modelo.

Tabela 28- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de *Allophylus edulis*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _c = b0 + b1 d ²	b0= -0,03860	0,03943	0,96	0,3999	0,9816	0,0592	160,0
		b1= 0,00876	0,000692	160,0	0,0011			
02	C _c = b0 + b1 d + b2 d ²	b0= 0,19117	0,22604	0,72	0,4867	0,9880	0,0587	82,26
		b1= -0,07647	0,07410	1,06	0,4105			
		b2= 0,01405	0,00517	7,39	0,1129			

Sendo: C_c= quantidade de carbono na fração cascas por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (DAP) (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Para a estimativa do logaritmo da quantidade de carbono na fração cascas, foi incluída a variável d². O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível 99,8% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b1 o valor de F' foi igual a 160,0. No passo 2, foi incluída a variável independente d, sendo o valor do teste F' do parâmetro b2, vinculado à variável diâmetro foi igual a 7,39, também significativo ao nível de

99,7% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,0587 Kg de carbono por árvore, e o coeficiente de determinação foi de 0,98. No passo 3, a inclusão de mais uma variável independente no modelo, não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Dados os parâmetros estatísticos F calculado da regressão e os valores de F' para os coeficientes da equação apresentaram maior precisão no passo 1, selecionou-se a referida equação para a estimativa da quantidade de carbono contida na fração cascas.

Tabela 29- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de *Allophylus edulis*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo N°	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _m = b0 + b1 d ²	b0= -1,43844	0,51743	7,73	0,0690	0,9834	0,7774	177,34
		b1= 0,12102	0,00909	177,34	0,0009			
02	C _m = b0 + b1 d + b2 d ²	b0= 3,63652	0,88936	63,42	0,0154	0,9997	0,1184	3.885,4
		b1= -1,66897	1,78528	127,30	0,0078			
		b2= 0,23778	7,27342	518,65	0,0019			

Sendo: C_{gv}= quantidade de carbono na fração madeira por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

No passo 1, para a estimativa da quantidade de carbono na fração madeira (Tabela 29), foi incluída a variável d². O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b1 o valor de F' foi igual a 177,34. No passo 2, foi incluída a variável independente d, sendo o valor do teste F' do parâmetro b2, vinculado à variável diâmetro foi igual a 518,65, também significativo ao nível de 99,9% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,1184 kg de carbono por árvore, e o coeficiente de determinação foi de 0,99. No passo 3, a inclusão de mais uma variável independente no modelo não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Dados os parâmetros estatísticos e principalmente o alto valor de F calculado da regressão, que conferiu uma alta precisão no passo 2, optou-se pela seleção da referida equação para a estimativa da quantidade de carbono contida na fração madeira.

A Tabela 30 apresenta os modelos matemáticos selecionados e seus parâmetros estatísticos obtidos para estimativa de carbono orgânico nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de *Allophylus edulis* (Chal-chal).

Tabela 30- Parâmetros estatísticos dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (Kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de *Allophylus edulis* (Chal-chal) em fase sucessional secundária em Florestal Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.

Fração	Modelo	B_j	R²	F	S_{yx}
Folhas	$C_c = b_0 + b_1 d^3$	b0= 0,02320 b1= 0,00022	0,9980	24,11	0,006
Galho vivo	$C_{gv} = b_0 + b_1 d$	b0= -1,80904 b1= 0,58717	0,9930	424,14	0,1701
Galho morto	$C_{gm} = b_0 + b_1 1/h_c^2$	b0= 0,04229 b1= -0,7150	0,9501	19,04	0,003
Casca	$C_c = b_0 + b_1 d^2$	b0= -0,03860 b1= 0,00876	0,9816	160,0	0,0592
Madeira	$C_m = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$	b0= 3,63652 b1= -1,66897 b2= 0,23778	0,9997	3.885,4	0,1184

Sendo: C= quantidade de carbono nas diferentes frações por árvore (kg); hc= altura de copa (m) d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F calculado da equação.

Observou-se que para a estimativa do carbono orgânico nos compartimentos da biomassa aérea de *Allophylus edulis* (Chal-chal), ocorreu a seleção de apenas modelos lineares, que tornam mais facilitada e direta a obtenção das estimativas, pois não se necessita de procedimentos de linearização dos modelos. A visualização do ajuste dos modelos de quantidade de carbono para a biomassa aérea da espécie em seus diferentes compartimentos com base nas árvores-amostras, pode ser verificada através da Figura 8, onde se pode notar o eficiente ajuste oferecido pelos modelos selecionados.

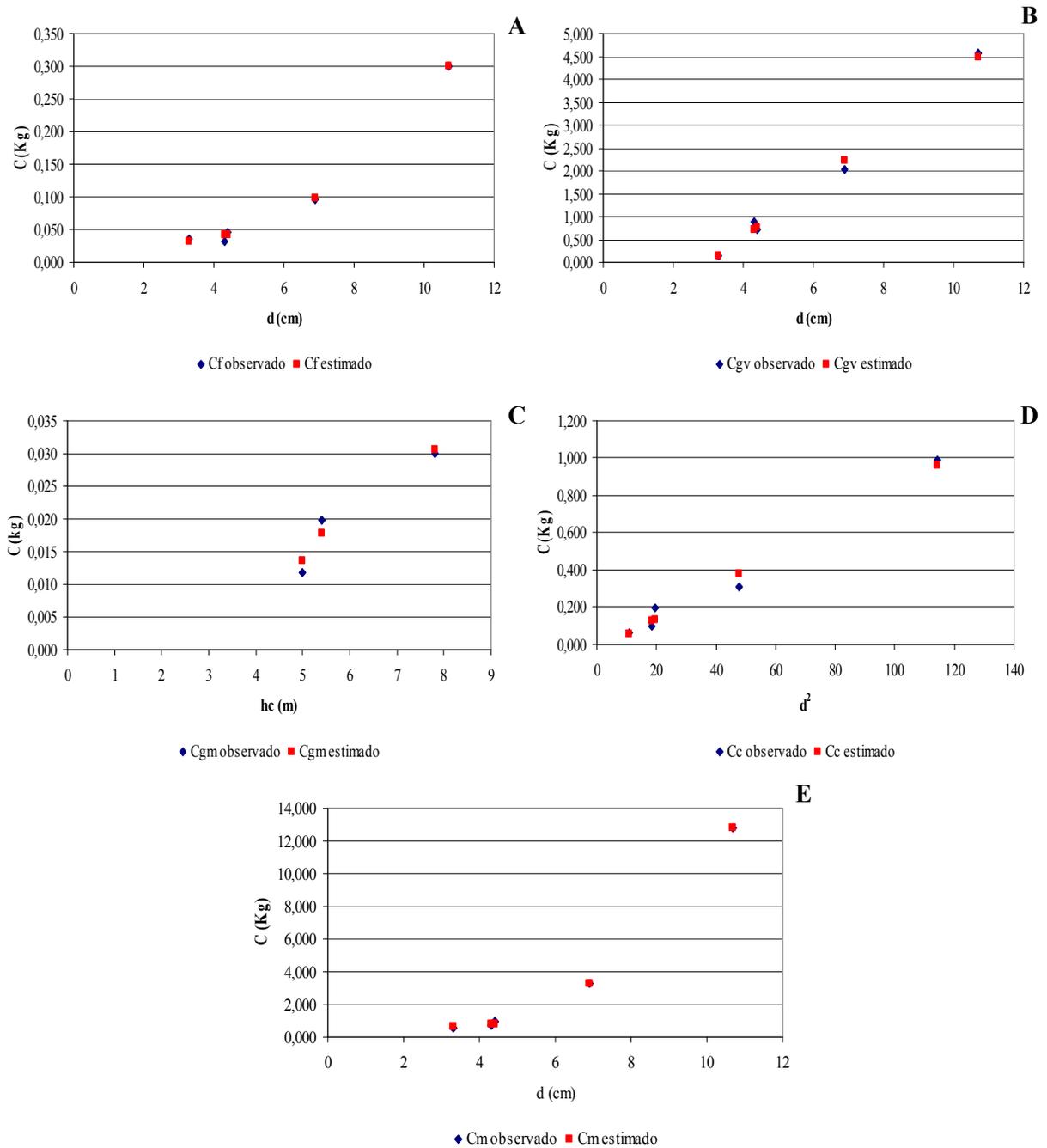


Figura 8- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de *Allophylus edulis* em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) galhos mortos, D) cascas e E) madeira.

Na Tabela 31, apresentam-se as estimativas de carbono com base nas equações matemáticas selecionadas.

Tabela 31- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de *Allophylus edulis* no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.

Ano	Frações (kg ha^{-1})						N° árv ha^{-1}
	Folhas	G. vivo	G. morto	Casca	Madeira	Biomassa	
1996	47,9	518,1	47,6	122,7	1.712,2	2.448,5	250
1999	55,3	547,6	42,0	134,1	1.938,8	2.717,8	250
2003	58,5	527,2	78,6	133,8	1.995,0	2.793,1	235
Média	53,9	531,0	56,1	130,2	1.882,0	2.653,1	245
IMC ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	1,5	1,3	4,4	1,6	40,4	49,2	-

No período estudado observou-se que a fração que apresentou maior acúmulo de carbono orgânico na espécie foi a madeira que representou em média 70,9%, seguido da fração galhos vivos 20,1%, as demais frações (folhas, galhos mortos e casca) com apenas 9,0% do carbono alocado na biomassa total. Dentre as espécies da Floresta Secundária estudada, como *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco) e a *Machaerium paraguariense* (Canela-do-brejo), o *Allophylus edulis* apresenta um comportamento bastante diferenciado, pois não se encontra em preeminente declínio, dentro da floresta.

A relação do comportamento diferenciado da espécie pode estar ligado a fatores como alta dispersão de sementes, por ser fonte de alimentação a avifauna, ter alta eficiência de aproveitamento da energia luminosa que entra no dossel e compensações entre as taxas de mortalidade e ingresso.

A eficiência no aproveitamento da energia luminosa difusa no dossel pode ser observada principalmente pelas variações no acúmulo de carbono nas frações galhos vivos e mortos. Os galhos vivos em 1999 tinham um aumento na quantidade de carbono de $9,8 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em relação à medição anterior, enquanto que na fração galhos mortos se verificam uma redução na ordem de $-1,9 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, que deve ter se originado pela abertura de clareiras no interior da floresta, que fez com que se modificasse a prioridade de alocação de carbono na espécie, priorizando para a formação de tecidos de copa como os próprios galhos vivos e folhas, para que posteriormente fossem alocados em frações que contenham tecidos de reserva, como a madeira. À medida que ocorreu novamente o fechamento do dossel, verificou-se a redução na alocação de carbono na fração galhos vivos para $-5,1 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ entre os anos de 1999 e 2003, enquanto

que na fração galhos mortos, pela redução da copa pela competição novamente instaurada, verifica-se um acréscimo de $9,2 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no mesmo período.

As compensações entre as taxas de mortalidade e ingresso de indivíduos têm sido um grande fator para o equilíbrio e incremento de carbono na espécie, pois embora a taxa de mortalidade apresenta um valor 2,3% e o ingresso de novos indivíduos ser de apenas 0,6%, o incremento de carbono continua positivo, indicando um contínuo crescimento interno da população e a espécie mantendo um comportamento como estocadora e não como fonte, como verificado com a *Machaerium paraguariense* (Canela-do-brejo), que à medida que ocorre seu declínio, tende a tornar-se fonte de carbono na floresta.

Deve-se atentar para o fato de a espécie ser uma secundária inicial, possuindo neste momento um comportamento de estocadora de carbono, por apresentar em sua maioria a mortalidade de indivíduos de pequenas proporções, pela constante competição formada no sub-bosque. À medida que houver a evolução e declínio da espécie, com a mortalidade de indivíduos de maiores proporções, pode ocorrer à inversão do comportamento do carbono na espécie, podendo a mesma tornar-se fonte, para uma melhor averiguação deste fator recomenda-se mais avaliações do crescimento e dinâmica da espécie dentro da sucessão da floresta.

4.1.5 Acúmulo de carbono em Guabirova (*Campomanesia xanthocarpa* Berg)

A Tabela 32 apresenta as correlações de Pearson estabelecidas entre as quantidades de carbono observadas nas árvores amostradas e as variáveis dendrométricas mensuradas para a construção dos modelos matemáticos para a estimativa nas diferentes frações formadoras da biomassa em *Campomanesia xanthocarpa* (Guabirova).

Tabela 32- Correlações entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de *Campomanesia xanthocarpa* (Guabirova) com as variáveis mensuradas.

Fração	d	hc	ht
Folhas	0,894	-0,054	
Galhos vivos	0,670	0,618	
Casca	0,990		0,957
Madeira	0,984		0,857

Observando a Tabela 32 verifica-se que a quantidade de carbono alocada para a fração folhas apresentou uma inter-relação maior com o diâmetro, indicando que quanto maior este

parâmetro mensurável maior a quantidade de carbono alocada na fração, comportamento igualmente incorporado pelas frações do fuste.

As estimativas do carbono na fração galhos vivos, através de modelos de entrada simples contendo apenas a variável diâmetro (d) não apresentarem-se significativamente precisas, principalmente quanto a parâmetros como o Coeficiente de determinação (R^2) e o Erro padrão da estimativa (S_{yx}). Optou-se pela construção de modelos matemáticos de dupla entrada contendo ambas variáveis em sua construção (diâmetro e altura de copa).

A Tabela 33 mostra o modelo matemático obtido, por meio da opção forward para a estimativa da quantidade de carbono orgânico na fração folhas de *Campomanesia xanthocarpa* (Guabirova).

Tabela 33- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de *Campomanesia xanthocarpa*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R^2	S_{yx}	F
		B_j	$S_{yx} B_j$	F'	Prob>F			
01	$C_f = b_0 + b_1 d^3$	$b_0 = -0,03138$	0,03745	0,88	0,4182	0,8416	0,0407	15,94
		$b_1 = 0,00014$	0,02641	15,94	0,0281			

Sendo: C_f = quantidade de carbono na fração folhas por árvore (kg); d = diâmetro à altura do peito (DAP) (cm); B_j = parâmetros da equação; $S_{yx} B_j$ = erro padrão dos parâmetros estimados B_j ; F' = valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Para a estimativa da quantidade de carbono alocado nas folhas foi inserida apenas a variável d^3 a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,8% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b_1) o valor de F' foi igual a 15,94. O erro padrão da estimativa foi de 0,0407 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,84 indicando uma excelente precisão estatística e ajuste para o modelo.

Tabela 34- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de *Campomanesia xanthocarpa*, em quilogramas (kg), em função da altura de copa das árvores.

Passo N°	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	ln C _{gv} = b0 + b1 1/h _c	b0= 0,49954	0,19815	6,36	0,0861	0,9467	0,3334	53,34
		b1= -3,59235	0,49189	53,34	0,0053			
02	ln C _{gv} = b0 + b1 d ² + b2 1/h _c ²	b0= -0,25177	0,39294	0,41	0,58723	0,9827	0,2331	56,95
		b1= -0,01766	0,00865	4,17	0,1778			
		b2= -3,13550	0,40944	58,67	0,0166			
03	ln C _{gv} = b0 + b1 d ² + b2 h _c ² + b3 1/h _c	b0= -2,59587	1,08080	5,77	0,2512	0,9971	0,1355	114,09
		b1= 0,05142	0,01602	10,30	0,1923			
		b2 = 0,03456	0,01558	4,92	0,2696			
		b3 = -0,9964	0,99293	1,01	0,4989			

Sendo: C_{gv}= quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (kg); hc= altura de copa (m), d= diâmetro à altura do peito (DAP) (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em logaritmo de kg; F= valor de F da equação.

Para os galhos vivos (Tabela 34) no passo 1 da equação para estimativa quantidade de carbono, foi incluída a variável 1/h_c². O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b1 o valor de F' foi igual a 53,34.

No passo 2, foi incluída a variável independente d², sendo o valor do teste F' do parâmetro b2, vinculado à variável diâmetro ao quadrado, foi igual a 58,67, também significativo ao nível de 99,7% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,2331 expresso em logaritmo de kg e o coeficiente de determinação foi de 0,98.

No passo 3, ocorreu a inclusão da variável 1/h_c, que garantiu a elevação da precisão de todos os parâmetros e redução do erro padrão da estimativa para 0,1355, expresso em logaritmo de kg. No passo 4, a inclusão de mais uma variável independente no modelo não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Com base nos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 34, foi selecionada a equação do passo 03 para estimativa da quantidade de carbono estocada na fração galhos vivos, dado seu menor erro padrão da estimativa e elevação dos demais parâmetros avaliados para seleção do modelo, que por sua vez gera estimativas mais precisas, em relação às equações anteriores (passos 1 e 2).

A Tabela 35 apresenta a equação e seus respectivos parâmetros estatísticos gerados no procedimento “stepwise” na opção “forward” para a estimativa do carbono orgânico na fração casca.

Tabela 35- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de *Campomanesia xanthocarpa*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	ln C _c = b0 + b1 1/d ²	b0= 0,61452 b1= -70,9029	0,13151 4,35118	21,83 265,53	0,0429 0,0037	0,9925	0,0982	265,5

Sendo: C_c= quantidade de carbono na fração cascas por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em logaritmo de (kg); F= valor de F da equação.

Na estimativa do carbono alocado na fração cascas foi inserida apenas a variável 1/d² a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 265,5. O erro padrão da estimativa foi de 0,0982, expresso em logaritmo de kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,99 indicando uma excelente precisão estatística e ajuste para o modelo.

Tabela 36- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de *Campomanesia xanthocarpa*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	ln C _m = b0 + b1 1/d ²	b0= 2,87285 b1= -56,3298	0,1855 4,8904	239,88 132,67	0,006 0,0014	0,9779	0,1764	132,7

Sendo: C_m= quantidade de carbono na fração folhas por árvore (kg); d=diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em logaritmo de (kg); F= valor de F da equação.

Na estimativa da quantidade de carbono orgânico alocado na madeira de *Campomanesia xanthocarpa* (Tabela 36) foi inserida apenas a variável 1/d² a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de

99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 132,7. O erro padrão da estimativa foi de 0,1764, expresso em logaritmo de kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,97 indicando uma excelente precisão estatística e ajuste para o modelo.

A Tabela 37 apresenta os modelos matemáticos selecionados e seus parâmetros estatísticos obtidos para estimativa de carbono orgânico nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de *Campomanesia xanthocarpa* (Guabirova).

Tabela 37- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de *Campomanesia xanthocarpa* (Guabirova) em fase sucessional secundária em Florestal Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.

Fração	Modelo	B _j	R ²	F	S _{yx}
Folhas	$C_f = b_0 + b_1 d^3$	b ₀ = -0,03507 b ₁ = 0,0005734	0,8416	15,94	0,0407
Galhos vivos	$\ln C_{gv} = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h_c^2 + b_3 1/h_c$	b ₀ = -2,59587 b ₁ = 0,05142 b ₂ = 0,03456 b ₃ = -0,9964	0,9971	114,09	0,1355
Casca	$\ln C_c = b_0 + b_1 1/d^2$	b ₀ = 0,61452 b ₁ = -70,9029	0,9925	265,5	0,0982
Madeira		b ₀ = 2,87285 b ₁ = -56,3298	0,9779	132,7	0,1764

Sendo: C= quantidade de carbono nas diferentes frações por árvore (kg); h_c= altura de copa (m) d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg) para a função linear da fração folhas, e em logaritmo de kg para as funções logarítmicas; F= valor de F calculado da equação.

Observou-se que dentro do grupo de equações matemáticas selecionadas para a estimativa do carbono orgânico nas diferentes frações da biomassa de *Campomanesia xanthocarpa* (Guabirova), as frações casca e madeira podem ser estimadas utilizando a mesma equação matemática, desde que ajustados seus coeficientes. A visualização do ajuste dos modelos de quantidade de carbono para a biomassa aérea da Guabirova em seus diferentes compartimentos com base nas árvores-amostras, pode ser verificada através da Figura 9, onde se pode notar o eficiente ajuste oferecido pelos modelos selecionados.

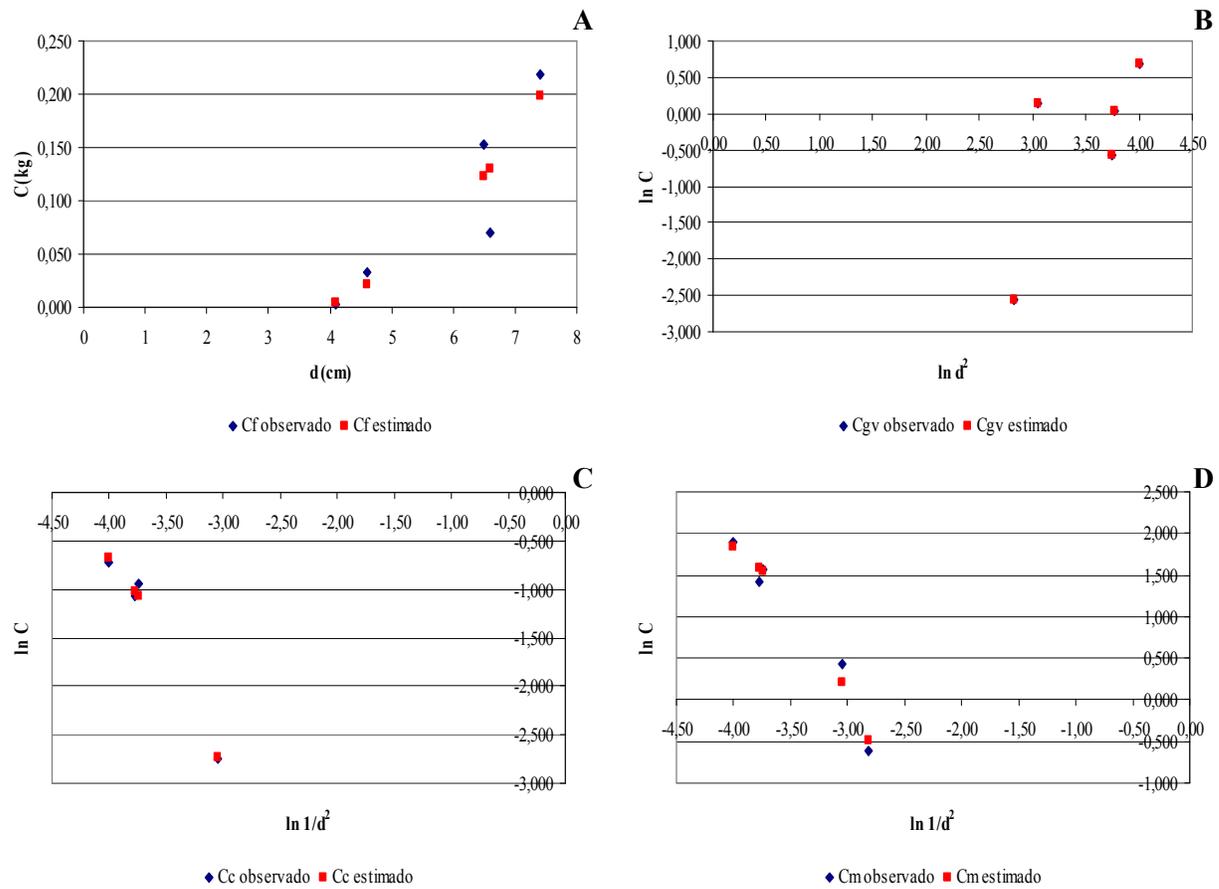


Figura 9- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de *Campomanesia xanthocarpa* em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.

Na Tabela 38 encontram-se as quantidades de carbono estimadas com base nas equações matemáticas selecionadas para a *Campomanesia xanthocarpa*.

Tabela 38- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de *Campomanesia xanthocarpa* no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.

Ano	Frações (kg ha^{-1})					N° árv ha^{-1}
	Folhas	G. vivo	Casca	Madeira	Biomassa	
1996	19,8	388,8	48,9	599,0	1.056,5	130
1999	24,3	477,5	51,4	633,1	1.186,3	130
2003	27,2	567,6	55,0	670,5	1.320,3	130
Média	23,8	478,0	51,8	634,2	1.187,6	130
IMC ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	1,1	25,5	0,9	10,2	37,2	-

O conteúdo de carbono orgânico acumulado apresentou-se maior na fração madeira, em média de 53,6% do total da espécie, seguido da fração galhos vivos 40,0% e as demais frações (folhas e cascas) com 6,4% do carbono alocado na biomassa total. Observa-se, para a espécie, um incremento positivo para a fração folhas, $0,6 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, o que indica um comportamento diferenciado, entre as demais secundárias iniciais da sucessão, o que lhe garante constante formação de tecidos de copa, principalmente de galhos vivos, indicando seu acesso ao estrato superior e a incidência direta e uma maior luminosidade, embora também se aloque carbono orgânico para a formação de tecidos do tronco e raízes, não ocorrendo assim uma inversão, nas tendências de alocação ao longo do desenvolvimento dos indivíduos da espécie.

Analisando as taxas de ingresso e mortalidade na espécie observa-se que as mesmas encontram-se estabilizadas em 0,5%, não variando na quantidade de indivíduos por área que nas três ocasiões avaliadas, que foi de 130 indivíduos ha^{-1} , o que indica a espécie como estocadora de carbono dentro da dinâmica de sucessão, pois as taxas de ingresso e crescimento interno compensam a mortalidade dos indivíduos em declínio, como ocorreu para o Chal-chal (*Allophylus edulis*).

4.1.6 Acúmulo de carbono em Laranjeira-do-mato (*Gymnanthes concolor* Spreng.)

A Tabela 39 apresenta as correlações de Pearson estabelecidas entre as quantidades de carbono observadas nas árvores amostradas e as variáveis dendrométricas mensuradas para a

construção dos modelos matemáticos para a estimativa nas diferentes frações formadoras da biomassa de *Gymnanthes concolor* (Laranja-do-mato).

Tabela 39- Correlações entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de *Gymnanthes concolor* com as variáveis mensuradas.

Fração	d	hc	ht
Folhas	0,826	0,712	
Galhos vivos	0,913	0,697	
Casca	0,957		0,982
Madeira	0,999		0,954

A quantidade de carbono apresentou altas inter-relações da maioria das frações da árvore com a variável diâmetro, que resultou na elaboração das equações em função desta variável, pois a medida que ocorre um aumento na variável ocorre também um aumento na quantidade de carbono estocada nas frações da espécie.

Porém, a fração casca apresentou maior inter-relação com a altura total, mas devido a grande variabilidade na variável, dado pela sua condição na posição sociológica da floresta (sub-bosque) com grande competição, gerou estimativas imprecisas quanto a quantidade de carbono alocada na fração. Portanto, optou-se pela elaboração das equações matemáticas contendo a variável diâmetro, que também apresentou uma correlação elevada (0,957) com a quantidade de carbono alocada na fração.

Tabela 40- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de *Gymnanthes concolor*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo N°	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _f = b0 + b1 d ³	b0= 0,15935	0,03680	18,75	0,0227	0,7586	0,054	9,43
		b1= 0,00074	0,000240	9,43	0,0545			
02	C _f = b0 + b1 d ³ +b2 1/1,3-d	b0= -0,25092	0,31443	0,64	0,5086	0,8706	0,049	6,71
		b1= -0,78153	0,59564	1,72	0,3199			
		b2= 0,00175	0,000802	4,73	0,1608			

Sendo: C_f= quantidade de carbono na fração folhas por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

No passo 1, para a estimativa da quantidade de carbono na fração folhas (Tabela 40), foi incluída a variável d^3 . O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível 99,7% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b_1 o valor de F' foi igual a 9,43.

No passo 2, foi incluída a variável independente $1/1,3-d$, sendo o valor do teste F' do parâmetro b_2 , vinculado à variável diâmetro, igual a 6,71, também significativo ao nível de 99,7% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,049 kg de carbono por árvore, e o coeficiente de determinação foi de 0,99. No passo 3, a inclusão de mais uma variável independente no modelo, não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Dados os parâmetros estatísticos dos coeficientes estimadores e principalmente o alto valor de F calculado da regressão, que conferiu uma alta precisão no passo 1 em relação a equação do passo 2, optou-se pela seleção da referida equação em detrimento da equação do passo 2, para a estimativa da quantidade de carbono contida na fração folhas de *Gymnanthes concolor*.

Tabela 41- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de *Gymnanthes concolor*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro e da altura de copa das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R^2	S_{yx}	F
		B_j	$S_{yx} B_j$	F'	Prob>F			
01	$\ln C_{gv} = b_0 + b_1 / d^2$	$b_0 = 0,47099$	0,17977	6,86	0,5657	0,9331	0,1717	41,87
		$b_1 = -16,4275$	2,53872	41,87	0,0498			
02	$\ln C_{gv} = b_0 + b_1 / d^2 + b_2 / d^2$	$b_0 = 2,39308$	0,89527	7,15	0,1161	0,9800	0,1150	49,06
		$b_1 = -0,03888$	0,01794	4,69	0,1626			
		$b_2 = -33,2159$	7,93295	17,53	0,0526			
03	$\ln C_{gv} = b_0 + b_1 / d^2 + b_2 / d^2 + b_3 / h_c^2$	$b_0 = 2,36132$	0,36841	41,08	0,0985	0,9983	0,047	196,89
		$b_1 = -0,03849$	0,00738	27,18	0,1207			
		$b_2 = -31,242$	3,31807	88,66	0,0647			
		$b_3 = -0,2006$	0,06098	10,82	0,1879			

Sendo: C_{gv} = quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (kg); h_c = altura de copa (m); d = diâmetro à altura do peito (cm); B_j = parâmetros da equação; $S_{yx} B_j$ = erro padrão dos parâmetros estimados B_j ; F' = valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa, expresso em logaritmo de (kg); F = valor de F da equação.

No passo 1 da equação para estimativa quantidade de carbono na fração galhos vivos (Tabela 41), foi incluída a variável $1/d^2$. O teste de significância para os parâmetros da equação

foi altamente significativo ao nível 99,7% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b_1 o valor de F' foi igual a 41,87.

No passo 2, foi incluída a variável independente d^2 , sendo o valor do teste F' do parâmetro b_2 , vinculado à variável diâmetro ao quadrado, igual a 49,06, também significativo ao nível de 99,7% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,1150 expresso em logaritmo de Kg e o coeficiente de determinação foi de 0,98.

No passo 3, ocorreu a inclusão da variável $1/h_c^2$, que garantiu a elevação da precisão de todos os parâmetros e redução do erro padrão da estimativa para 0,047, expresso em logaritmo de Kg. No passo 4, a inclusão de mais uma variável independente no modelo não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Com base nos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 41, foi selecionada a equação do passo 03 para estimativa da quantidade de carbono estocada na fração galhos vivos de *Gymnanthes concolor* (Laranjeira-do-mato), dado seu menor erro padrão da estimativa e elevação dos demais parâmetros avaliados para seleção do modelo, que por sua vez gerou estimativas mais precisas, em relação as equações anteriores (passos 1 e 2).

Tabela 42- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração cascas por árvore de *Gymnanthes concolor*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro e da altura de copa das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R^2	S_{yx}	F
		B_j	$S_{yx} B_j$	F'	Prob>F			
01	$C_c = b_0 + b_1 1/d^2$	$b_0 = 0,01405$	0,01405	210,47	0,0007	0,9594	0,013	70,97
		$b_1 = -1,67133$	0,19839	70,97	0,0035			

Sendo: C_c = quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (kg); d =diâmetro à altura do peito (cm); B_j = parâmetros da equação; $S_{yx} B_j$ = erro padrão dos parâmetros estimados B_j ; F' = valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Na estimativa da quantidade de carbono estocada na casca (Tabela 42) foi inserida apenas a variável d^2 a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b_1) o valor de F' foi igual a 70,97. O erro padrão da estimativa foi de 0,013 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,95 indicando uma excelente precisão estatística e ajuste para o modelo.

Tabela 43- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de *Gymnanthes concolor*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _m = b0 + b1 d	b0= -0,95131	0,04673	414,51	0,0003	0,9986	0,031	2.102,6
		b1= 0,45899	0,01001	2.102,6	0,0001			

Sendo: C_m= quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (kg); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Para estimativa do carbono na madeira (Tabela 43) foi inserida apenas a variável d a um nível de tolerância de 0,5% para as estimativas da quantidade de carbono alocado nesta fração. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 2.102,6. O erro padrão da estimativa foi de 0,031 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,99 indicando uma excelente precisão estatística e ajuste para o modelo.

A Tabela 44 apresenta os modelos matemáticos selecionados e seus parâmetros estatísticos obtidos para estimativa de carbono orgânico nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de *Gymnanthes concolor* (Laranjeira-do-mato).

Tabela 44- Parâmetros para seleção dos modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de *Gymnanthes concolor* em floresta secundária em Floresta Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.

Fração	Modelo	B _j	R ²	F	S _{yx}
Folhas	C _f = b0 + b1 d ³	b0= 0,15935 b1= 0,00074	0,7586	9,43	0,054
Galhos vivos	ln C _{gv} = b0 + b1 d ² + b2 1/d ² + b3 1/h _c ²	b0= 2,36132 b1= -0,03849 b2 = -31,242 b3 = -0,2006	0,9983	196,89	0,047
Casca	C _c = b0 + b1 1/d ²	b0= 0,01405 b1= -1,67133	0,9594	70,97	0,013
Madeira	C _m = b0 + b1 d	b0= -0,95131 b1= 0,45899	0,9986	2.102,6	0,031

Sendo: C= quantidade de carbono nas diferentes frações por árvore (kg); h_c= altura de copa (m) d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg) para as funções lineares, e em logaritmo de kg para as funções logarítmicas; F= valor de F calculado da equação.

Entre as equações matemáticas selecionadas para estimar a quantidade de carbono na espécie observou-se a predominância dos modelos lineares, com exceção da fração galhos vivos que apresentou uma função logarítmica. A visualização do ajuste dos modelos de quantidade de carbono para a biomassa aérea de *Gymnanthes concolor* em seus diferentes compartimentos com base nas árvores-amostras, pode ser verificada através da Figura 10, onde se pode notar o eficiente ajuste oferecido pelos modelos selecionados.

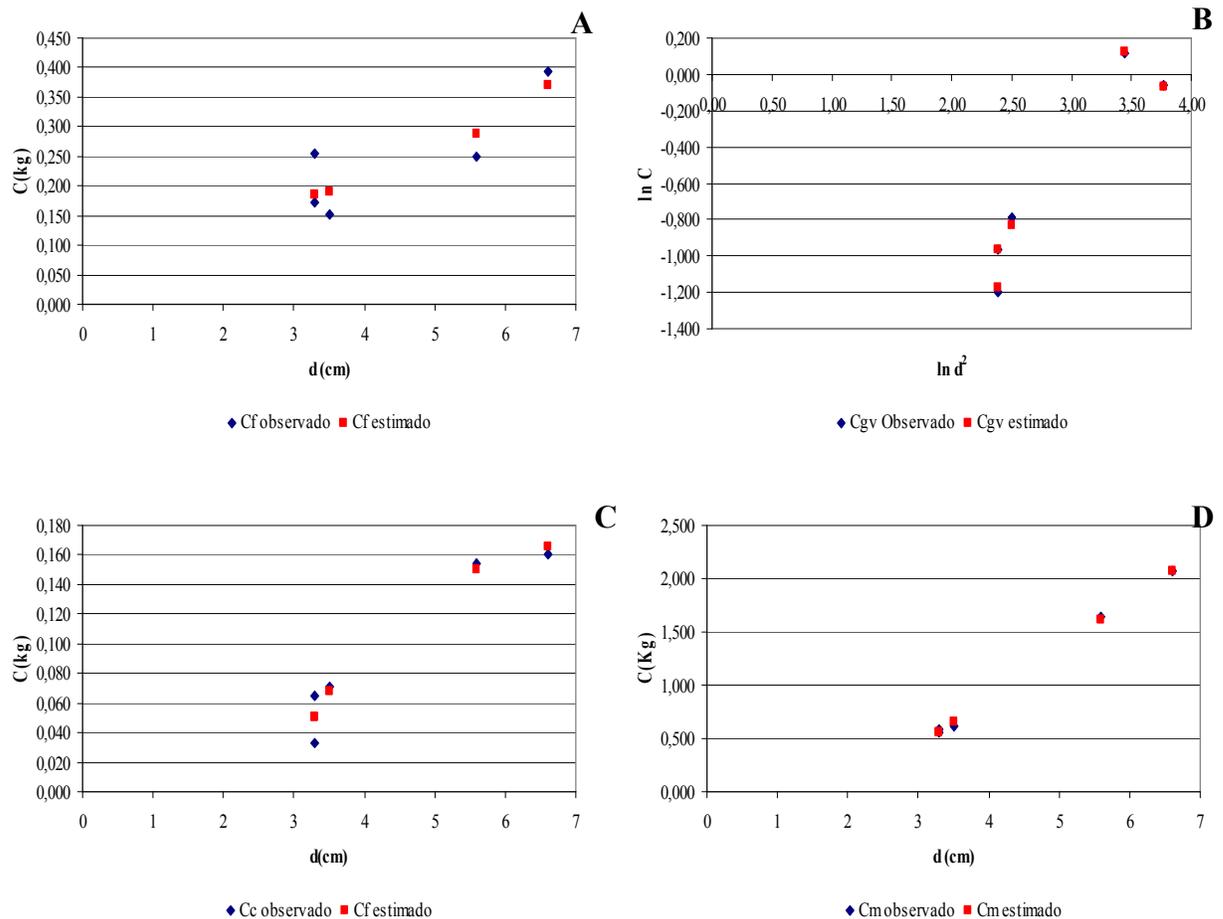


Figura 10- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de *Gymnanthes concolor* em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.

A Tabela 45 apresenta as quantidades estimadas de carbono alocadas nas diferentes frações da biomassa, como base nos modelos matemáticos desenvolvidos.

Tabela 45- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de *Gymnanthes concolor* no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.

Ano	Frações (kg ha^{-1})					N° árv ha^{-1}
	Folhas	G. vivo	Casca	Madeira	Biomassa	
1996	7,4	25,2	3,0	27,9	63,5	35
1999	8,9	32,3	4,2	36,5	81,9	40
2003	9,9	38,2	5,0	45,8	98,9	40
Média	8,7	31,9	4,1	36,7	81,4	38
IMC ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	0,4	1,9	0,3	2,6	5,1	-

O acúmulo de carbono orgânico na biomassa de *Gymnanthes concolor* (Tabela 45) apresentou-se maior na fração madeira, em média de 44,9%, seguido da fração galhos vivos 39,2%, folhas 10,8% e as cascas com apenas 5,0% do carbono alocado na biomassa total.

Observando o comportamento do carbono orgânico em *Gymnanthes concolor*, verifica-se uma certa proporcionalidade em valores, nas representações das frações galhos vivos e madeira, o que indica que a espécie apresenta-se em transição de um estágio de crescimento acentuado (jovem) para um estágio maduro dentro da sucessão, tanto que o incremento na fração de galhos vivos, que é $1,9 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, é apenas $0,7 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ menor que o incremento em madeira, que é de $2,6 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Outro fator a considerar é a pequena quantidade de carbono alocada na fração cascas que é em média de $4,1 \text{ kg C ha}^{-1}$, resultando num incremento $0,3 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, que se deve principalmente a elevada competição entre espécies no estrato do sub-bosque, no qual a espécie é encontrada, onde todos os carboidratos alocados pela planta são priorizados para o crescimento em altura e da copa, e não no crescimento em diâmetro, que influencia diretamente na maior quantidade de carbono alocado para a fração, para que se garanta sua continuidade dentro da sucessão.

Dado o equilíbrio entre as taxas de mortalidade e ingresso da espécie dentro da sucessão, que foram ambas de apenas 2%, observa-se que a mesma apresenta, assim como o Chal-chal (*Allophylus edulis*) e a Guabirova (*Campomanesia xanthocarpa*), o comportamento de espécie estocadora de carbono.

4.1.7 Acúmulo de carbono em Pau-de-ervilha (*Trichilia elegans* Adr. Jussieu subesp. *elegans*)

A Tabela 46 apresenta as correlações de Pearson estabelecidas entre as quantidades de carbono observadas nas árvores amostradas e as variáveis dendrométricas mensuradas para a construção dos modelos matemáticos para a estimativa nas diferentes frações formadoras da biomassa de *Trichilia elegans*.

Tabela 46- Correlações entre as quantidades de carbono observadas na diferentes frações da biomassa de *Trichilia elegans* com as variáveis mensuradas.

Fração	d	hc	ht
Folhas	-0,730	0,836	
Galhos vivos	0,033	0,450	
Casca	0,988		0,703
Madeira	0,879		0,901

Com base na Tabela 46, verifica-se que a quantidade de carbono para a fração folhas a maior inter-relação ocorre com a altura de copa, onde à medida que ocorre a alongação da copa ocorre aumento na quantidade de carbono nos tecidos da fração folhas, enquanto que com a variável diâmetro observa-se uma situação contrária, ocorrendo uma redução na quantidade de carbono alocada na fração quando do aumento desta variável, devido a translocação de carboidratos para outros tecidos de reserva como o fuste, principalmente a madeira.

Para a fração galhos vivos a quantidade de carbono apresentou correlações “fracas” com ambas variáveis mensuráveis (h_c e d), o que levou a modelagem de equações de dupla entrada contendo as duas variáveis. No fuste verificou-se que para cascas ocorreu uma maior inter-relação com a altura total, enquanto que a fração madeira obteve maior correlação com o diâmetro.

Tabela 47- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração folhas por árvore de *Trichilia elegans*, em quilogramas (kg), em função da altura de copa das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _f = b0 + b1 h _c	b0= -0,01300	0,02728	0,23	0,6662	0,7012	0,0231	7,04
		b1= 0,03851	0,01451	7,04	0,0768			

Sendo: C_f= quantidade de carbono na fração folhas por árvore (kg); h_c= altura de copa (m); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Na estimativa da quantidade de carbono nas folhas (Tabela 47) foi inserida apenas a variável h_c a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,6% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 7,04. O erro padrão da estimativa foi de 0,023 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,70 indicando uma boa precisão estatística e ajuste para o modelo.

Tabela 48- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore de *Trichilia elegans*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro e da altura de copa das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _{gv} = b0 + b1 1/1,3-h _c	b0= -0,17235	0,01510	130,21	0,0014	0,5223	0,0333	3,28
		b1= -0,00695	0,00384	3,28	0,1678			
02	C _{gv} = b0 + b1 1/1,3-d +b2 1/1,3-h _c	b0= 0,30908	0,09856	9,83	0,0884	0,7587	0,0291	3,14
		b1= 0,28338	0,20246	1,96	0,2966			
		b2= -0,00947	0,00379	6,23	0,1300			

Sendo: C_{gv}= quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (kg); h_c= altura de copa (m); d=diâmetro à altura do peito (cm) B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Para a estimativa da quantidade de carbono na fração galhos vivos (Tabela 48), foi incluída, no passo 1, a variável 1/1,3-h_c. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo ao nível 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular b1 o valor de F' foi igual a 9,43.

No passo 2, foi incluída a variável independente 1/1,3-d, sendo o valor do teste F' do parâmetro b2, vinculado à variável diâmetro foi igual a 6,71, também significativo ao nível de 99,6% de probabilidade de confiança. O erro padrão de estimativa foi de 0,0291 kg de carbono por árvore, e o coeficiente de determinação foi de 0,75. No passo 3, a inclusão de mais uma variável independente no modelo não foi possível para um nível de 0,5% de tolerância.

Com base no coeficiente de determinação (R^2) e o valor do erro padrão da estimativa, optou-se pela seleção da equação 2 em detrimento da equação do passo 1, para a estimativa da quantidade de carbono contida na fração galhos vivos.

Tabela 49- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração casca por árvore de *Trichilia elegans*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro das árvores.

Passo Nº	Regressões	Parâmetros estatísticos				R^2	S_{yx}	F
		B_j	$S_{yx} B_j$	F'	Prob>F			
01	$C_c = b_0 + b_1 d^2$	b0= -0,20851 b1= 0,02743	0,03096 0,00247	45,35 123,84	0,0067 0,0016	0,9763	0,018	123,84

Sendo: C_c = quantidade de carbono na fração cascas por árvore (kg); d=diâmetro à altura da copa (cm); B_j = parâmetros da equação; $S_{yx} B_j$ = erro padrão dos parâmetros estimados B_j ; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F da equação.

Para a fração cascas (Tabela 49) foi inserida apenas a variável d^2 a um nível de tolerância de 0,5%. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 123,84. O erro padrão da estimativa foi de 0,018 kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,97, indicando uma boa precisão estatística e ajuste para o modelo.

Tabela 50- Parâmetros estatísticos obtidos na modelagem da equação de quantidade de carbono na fração madeira por árvore de *Trichilia elegans*, em quilogramas (kg), em função do diâmetro e da altura de copa das árvores.

Passo N°	Regressões	Parâmetros estatísticos				R ²	S _{yx}	F
		B _j	S _{yx} B _j	F'	Prob>F			
01	C _m = b0 + b1 d ³	b0= 2,13577	0,38480	30,81	0,0115	0,8237	0,1299	14,02
		b1= 2,98448	0,79714	14,02	0,0333			

Sendo: C_m= quantidade de carbono na fração galhos vivos por árvore (Kg); d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; S_{yx} B_j= erro padrão dos parâmetros estimados B_j; F'= valor de F calculado para teste de hipóteses dos parâmetros; Prob>F= probabilidade maior que o valor de F calculado; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (Kg); F= valor de F da equação.

Para a estimativa da fração madeira foi inserida apenas a variável d³ a um nível de tolerância de 0,5% para a estimativa da quantidade de carbono. O teste de significância para os parâmetros da equação foi altamente significativo a um nível de 99,9% de probabilidade de confiança, sendo que para o coeficiente angular (b1) o valor de F' foi igual a 14,02. O erro padrão da estimativa foi de 0,1299 Kg de carbono por árvore, e um coeficiente de determinação igual 0,82 indicando uma boa precisão estatística e ajuste para o modelo.

A Tabela 51 apresenta os modelos matemáticos selecionados e seus parâmetros estatísticos obtidos para estimativa de carbono orgânico nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de Pau-de-ervilha.

Tabela 51- Modelos matemáticos para estimativa da quantidade de carbono orgânico (kg) nos diferentes compartimentos formadores da biomassa de *Trichilia elegans* em fase sucessional secundária em Floresta Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.

Fração	Modelo	B _j	R ²	F	S _{yx}
Folhas	C _f = b0 + b1 h _c	b0= -0,01300 b1= 0,033851	0,7012	7,04	0,0231
Galhos vivos	C _{gv} = b0 + b1 1/1,3-d +b2 1/1,3-h _c	b0= 0,30908 b1= 0,28338 b2= -0,00947	0,7587	3,14	0,0291
Casca	C _c = b0 + b1 d ²	b0= -0,20851 b1= 0,02743	0,9763	123,84	0,018
Madeira	C _m = b0 + b1 d ³	b0= 2,13577 b1= 2,98448	0,8237	14,02	0,1299

Sendo: C= quantidade de carbono nas diferentes frações por árvore (kg); h_c= altura de copa (m) d= diâmetro à altura do peito (cm); B_j= parâmetros da equação; R²= coeficiente de determinação; S_{yx}= erro padrão da estimativa, expresso em (kg); F= valor de F calculado da equação.

Para a estimativa da quantidade de carbono alocada na espécie, no procedimento de formulação dos modelos obtiveram-se apenas modelos lineares. A visualização do ajuste dos modelos de quantidade de carbono para a biomassa aérea do Pau-dervilha em seus diferentes compartimentos com base nas árvores-amostras, pode ser verificada através da Figura 11, onde se pode notar o eficiente ajuste oferecido pelos modelos selecionados.

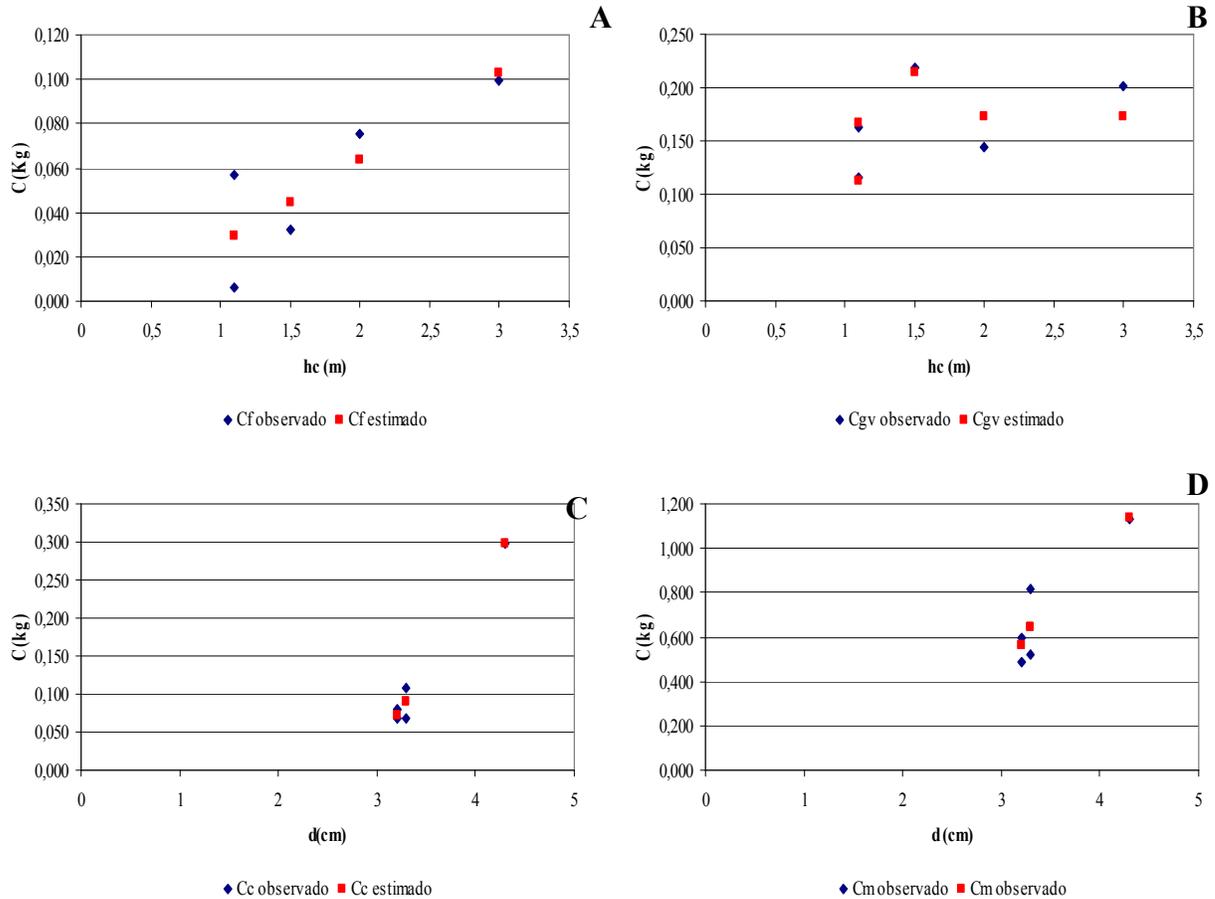


Figura 11- Valores observados e estimados da quantidade de carbono (kg) nas frações da biomassa aérea de *Trichilia elegans* em função das variáveis independentes, com base nas árvores-amostras: A) folhas, B) galhos vivos, C) cascas e D) madeira.

A quantidade de carbono estimada estocada durante o período de estudo com base nas equações matemáticas encontra-se demonstradas na Tabela 52.

Tabela 52- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento médio anual de carbono ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa de *Trichilia elegans* no período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS.

Ano	Frações (kg ha^{-1})					N° árv ha^{-1}
	Folhas	G. vivo	Casca	Madeira	Biomassa	
1996	23,2	62,4	94,1	288,9	468,6	295
1999	33,9	73,9	107,8	353,2	568,8	360
2003	24,9	95,9	151,4	471,0	743,2	435
Média	27,3	77,4	117,8	371,0	593,5	363
IMC ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	5,9	4,8	8,2	26,0	39,2	-

O acúmulo de carbono orgânico na espécie apresentou-se maior na fração madeira que foi em média de 62,4% do carbono orgânico acumulado na espécie, seguido da fração casca 19,8%, galhos vivos com um percentual de 13,1% e folhas com 4,8% do carbono alocado na biomassa total.

Um fator de elevada importância na alocação de carbono em indivíduos de *Trichilia elegans*, é o incremento de carbono nas cascas, que foi de $8,2 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, assim como a quantidade alocada no Catiguá-vermelho (*Trichilia clausenii*) que foi de $3,5 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, o que reforça a necessidade de estudos quanto ao potencial de emprego destas espécies na produção de tanino.

A espécie demonstra-se em pleno desenvolvimento dentro da sucessão, pois a taxa de mortalidade é considerada ínfima, de apenas 1,2%, enquanto o ingresso de indivíduos chega a 8%, mantendo positivo o saldo de carbono na sucessão, e qualificando a espécie como estocadora de carbono orgânico.

4.2 Dinâmica de Carbono Orgânico na Floresta Secundária

Na Tabela 53 apresenta-se os teores médios de carbono orgânico encontrado nas diferentes espécies estudadas.

Tabela 53- Teor de carbono orgânico (g kg⁻¹) nas diferentes espécies estudadas em seus diferentes compartimentos da biomassa em mata secundária de uma Floresta Estacional Decidual, em Santa Tereza, RS

Espécie	Frações (C (g kg ⁻¹))					
	Folha	Galho Vivo	Galho Morto	Casca	Madeira	Biomassa Total
<i>Matayba elaeagnoides</i>	489,0 a*	430,4 a	437,6**	414,1 ab	440,0 a	443,0
<i>Machaerium paraguariense</i>	454,9 b	396,1 ab	-	441,0 ab	441,2 a	425,3
<i>Trichilia clausenii</i>	500,4 a	391,3 ab	-	400,3 bc	456,9 a	448,2
<i>Allophylus edulis</i>	428,4 bc	379,1 b	415,1	430,8 ab	459,5 a	422,6
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	414,5 c	390,5 ab	-	432,8 ab	454,6 a	427,5
<i>Gymnanthes concolor</i>	372,8 d	376,9 b	-	372,8 c	446,1 a	390,6
<i>Trichilia elegans</i>	433,4 bc	355,1 b	-	443,4 a	451,2 a	428,2

* Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente pelo Teste de Duncan a uma probabilidade de 5%.

** Significativo (Teste t, a 5% de probabilidade de erro).

Com base nos testes estatísticos realizados observa-se que as espécies Catiguá-vermelho (*Trichilia clausenii*) e Camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides*) apresentaram as maiores concentrações de carbono orgânico para a fração folhas, demonstrando melhor potencial para seqüestro deste elemento na fração. A espécie Laranjeira-do-mato (*Gymnanthes concolor*) apresentou a menor concentração do elemento nesta fração.

Para galhos vivos, a maior concentração se verificou na espécie Camboatá-branco, seguido pelas espécies, Canela-do-brejo (*Machaerium paraguariense*), Catiguá-vermelho e Guabirova (*Campomanesia xanthocarpa*). As espécies Chal-chal (*Allophylus edulis*), Laranjeira-do-mato e Pau-de-ervilha (*Trichilia elegans*) foram as que apresentaram o menor potencial de concentração para o elemento na fração. Nos galhos mortos, a maior concentração de carbono orgânico foi no Camboatá-branco e para cascas, a maior concentração observada foi para o Pau-de-ervilha e a menor na Laranjeira-do-mato.

Para a fração madeira, as espécies estudadas não diferiram entre si, demonstrando um alto potencial de concentração de carbono orgânico nesta fração.

Dada às concentrações na biomassa das espécies, indicar-se-ia o Camboatá-branco, como uma das espécies mais potenciais na fixação de teores de carbono, por apresentar as maiores concentrações do elemento, porém para as espécies nativas, apenas este critério não é o suficiente para a indicação de uma espécie para sua utilização no seqüestro de carbono, como é utilizado

nas espécies “exóticas” implantadas em larga escala nos reflorestamentos comerciais, mas o principal fator é o comportamento da espécie dentro da dinâmica de sucessão.

A situação apresentada pela dinâmica de crescimento do Camboatá-branco na sucessão o desqualifica como uma espécie para fins de seqüestro de carbono devido ao seu rápido declínio, dado por uma maior taxa de mortalidade em relação ao ingresso e crescimento interno, que ocasiona maiores taxas de emissões de CO₂ no processo de decomposição dos indivíduos mortos, tornando a espécie uma fonte de carbono dentro da floresta. Para isto, é mais coerente o emprego de espécies ditas “longevas”, que durante seu crescimento se perpetuam até o estágio de clímax (floresta madura), pois, dado o comportamento da taxa de mortalidade ser extremamente ínfimo em relação ao ingresso e crescimento interno, compensam as emissões e estocam quantidades consideráveis de carbono em seus tecidos, como acontece com as espécies: o Chal-chal (*Allophylus edulis*), a Guabirova (*Campomanesia xanthocarpa*) e o Pau-de-ervilha (*Trichilia elegans*).

A implantação adequada dos indivíduos para projetos de seqüestro de carbono com fins conservacionistas seria como forma de enriquecimento de fragmentos florestais nativos degradados. Em situações que se objetive o reflorestamento com espécies nativas, é necessário de igual forma, que se observe a dinâmica sucessional, começando o mesmo por espécies de caráter pioneiro, e que também se estude o potencial de seqüestro de carbono destas espécies, de forma a compensar as emissões à medida que se processe a sucessão da floresta.

Na Tabela 54, apresentam-se as quantidades de carbono (kg ha⁻¹) e incremento (kg C ha⁻¹ ano⁻¹) ao longo do período de estudo.

Tabela 54- Conteúdo de carbono orgânico estocado (kg ha^{-1}) e incremento médio anual de carbono ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nos diferentes compartimentos da biomassa das espécies estudadas no período de 1996 a 2003 na Floresta Estacional Decidual em Santa Tereza, RS.

Espécie	Frações (kg ha^{-1})					Biomassa total
	Folha	G. vivo	G. morto	Casca	Madeira	
1996						
<i>Matayba elaeagnoides</i>	8,4	225,5	26,1	190,2	1.233,2	1.683,4
<i>Machaerium paraguariense</i>	2,5	100,2	-	27,0	171,3	301,0
<i>Trichilia clausenii</i>	26,6	34,8	-	8,8	99,4	169,6
<i>Allophylus edulis</i>	47,9	518,1	47,6	122,7	1.712,2	2.448,5
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	19,8	388,8	-	48,9	599,0	1.056,5
<i>Gymnanthes concolor</i>	7,4	25,2	-	3,0	27,9	63,5
<i>Trichilia elegans</i>	23,2	62,4	-	94,1	288,9	468,6
Floresta Secundária*	135,8	1.355,0	73,7	494,7	4.131,9	6.191,1
1999						
<i>Matayba elaeagnoides</i>	10,6	238,4	30,6	197,0	1.300,4	1.777,0
<i>Machaerium paraguariense</i>	2,4	69,1	-	21,2	134,4	227,1
<i>Trichilia clausenii</i>	51,6	71,8	-	17,3	196,0	336,7
<i>Allophylus edulis</i>	55,3	547,6	42,0	134,1	1.938,8	2.717,8
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	24,3	477,5	-	51,4	633,1	1.186,3
<i>Gymnanthes concolor</i>	8,9	32,3	-	4,2	36,5	81,9
<i>Trichilia elegans</i>	33,9	73,9	-	107,8	353,2	568,8
Floresta Secundária	187,0	1.510,9	72,6	533,0	4.592,4	6.895,6
2003						
<i>Matayba elaeagnoides</i>	6,1	256,4	20,0	203,7	1.389,8	1.876,0
<i>Machaerium paraguariense</i>	1,2	41,1	-	16,5	143,8	202,6
<i>Trichilia clausenii</i>	96,8	192,1	-	33,1	347,6	669,6
<i>Allophylus edulis</i>	58,5	527,2	78,6	133,8	1.995,0	2.793,1
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	27,2	567,6	-	55,0	670,5	1.320,3
<i>Gymnanthes concolor</i>	9,9	38,2	-	5,0	45,8	98,9
<i>Trichilia elegans</i>	24,9	95,9	-	151,4	471,0	743,2
Floresta Secundária	224,6	1.718,5	98,6	598,5	5.063,5	7.703,7
IMC ($\text{kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	12,7	51,9	3,6	14,8	133,1	216,1

* Quantidade de carbono alocada nas frações para Floresta Secundária com base no grupo de espécies estudadas, desconsiderando as demais espécies formadoras do mosaico vegetal.

A quantidade de carbono estocada na Floresta Secundária com base no grupo de espécies estudadas foi de $7,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo representada nas frações por 66,4% pela madeira, 22,0% pelos galhos vivos e 11,6% pelas demais frações (folhas, galhos mortos e cascas).

Dentre as espécies do grupo a que acumulou mais carbono na fração folhas pode-se citar o *Allophylus edulis* (Chal-chal), que alocou 30,3% do carbono da fração, seguido pela *Trichilia clausenii* (Cátigua-vermelho), que representou 30,1% do carbono total alocado nas folhas. Na

fração galhos vivos, a espécie *Allophylus edulis* (Chal-chal) representou 35,0% do carbono total da fração e a guabirova (*Campomanesia xanthocarpa*) representou 31,1% deste elemento alocado na referida fração, enquanto que nos galhos mortos a maior quantidade também foi verificada na espécie *Allophylus edulis* (Chal-chal) com 67,4% e *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco) com apenas 32,6% do carbono da fração.

Porém, para a fração casca, ocorreu uma inversão na ordem das espécies relacionadas acima, sendo que a espécie que mais contribuiu na fração foi o Camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides*) que alocou 36,6% do carbono total estocado na fração.

Na madeira verificou-se que as espécies que estocaram as maiores quantidades de carbono foram respectivamente: Chal-chal (*Allophylus edulis*) com 41,4% e o Camboatá-branco, com 28,8%. As demais espécies juntas representam 29,8% do carbono total alocado na madeira da floresta neste grupo de espécies. Dentro dos grupos sucessionais observou-se que as quantidades de carbono alocadas nas frações componentes da biomassa aérea, ficaram distribuídas conforme a Figura 12.

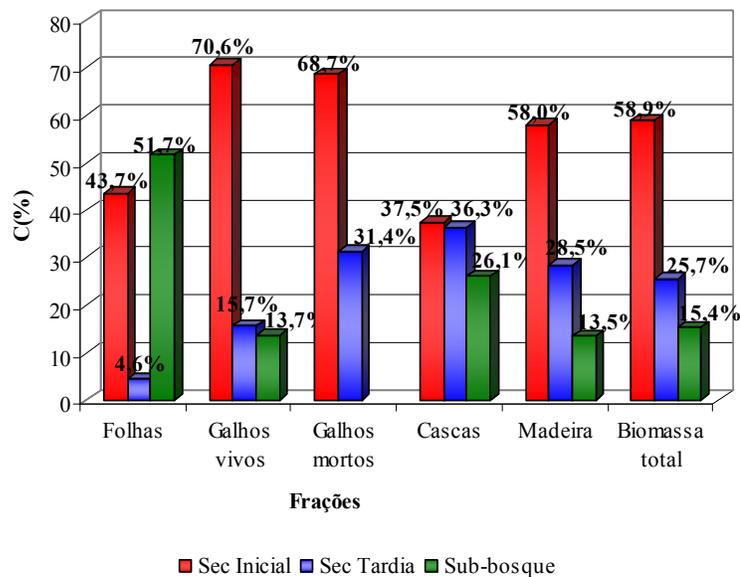


Figura 12- Quantidades percentuais de carbono estocadas nos diferentes grupos sucessionais da Floresta Secundária em Santa Tereza, RS.

Com base na Figura 12, observa-se que ocorre uma predominância na quantidade de carbono acumulado nas frações galhos vivos e mortos e madeira, inclusive na biomassa total da Floresta, pelo grupo sucessional das espécies secundárias iniciais, que são espécies que

desenvolvem-se durante a transição do estágio sucessional de capoeirão (anterior) para a floresta secundária, onde estas espécies, por sua vez, tem pleno acesso ao estrato superior e grande luminosidade para impulsionar seu crescimento principalmente num primeiro momento de copa, com grande alocação de carbono, no estado jovem, e posteriormente translocação do elemento para tecidos de reserva como a madeira.

Na fração casca, notou-se que ocorreu uma equivalência nos percentuais alocados entre os grupos secundária inicial e tardia, tal fato se deve primeiramente, ao grupo das secundárias iniciais e tardias, apresentarem indivíduos de grandes proporções, portanto, a prioridade de alocação do carbono é para frações de reserva, como esta fração.

O maior percentual de carbono alocado pela fração folhas foi encontrado nas espécies do grupo sucessional de sub-bosque, isto dado pelo grande número de indivíduos por hectare, que chega em torno 180 indivíduos ha^{-1} para o grupo estudado, portanto uma alta competitividade dentro do estrato, que faz com que as espécies, como estratégia para seu desenvolvimento e acesso a luminosidade difusa que entra pelo dosel, mantenham uma maior prioridade para alocação de carbono na copa, principalmente nesta fração, possibilitando assim o crescimento em altura das espécies deste grupo.

Os grandes fatores que influenciaram as quantidades de carbono alocadas nas diferentes frações da árvore pelas espécies dentro da floresta, no presente estudo, foram às taxas de ingresso e mortalidade da floresta, que se apresentam expressas por espécie e para a floresta como um todo na Figura 13.

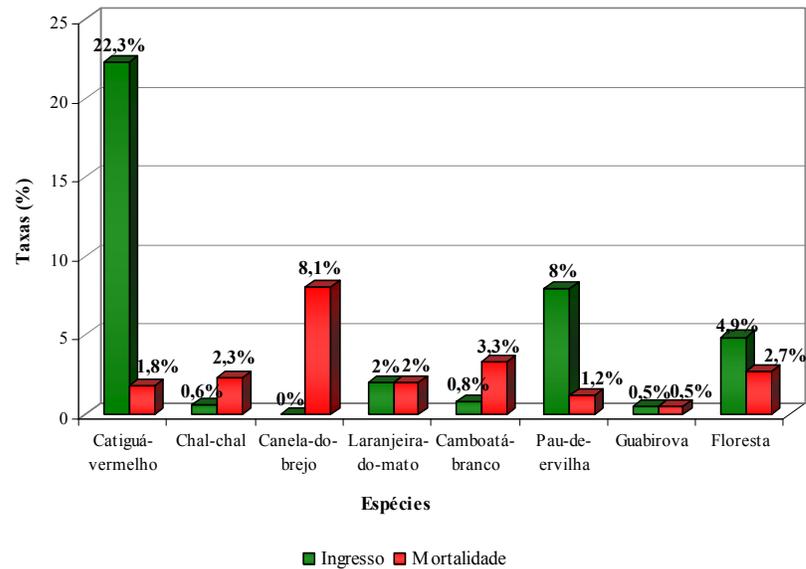


Figura 13- Taxas de ingresso e mortalidade de indivíduos nas espécies estudadas e para a Floresta Secundária com base no grupo de espécies estudadas durante o período de 1996 a 2003, na Floresta Estacional Decidual no Município de Santa Tereza, RS.

Na Figura 13, verifica-se que as espécies que apresentam as maiores taxas de ingressos são as espécies de sub-bosque, como o *Trichilia clausenii* (catiguá-vermelho) e o *Trichilia elegans* (pau-de-ervilha), com exceção da laranjeira-do-mato (*Gymnanthes concolor*), que manteve equilibradas suas taxas de ingresso e mortalidade dentro do período de estudo. Com base nestes aspectos pode-se inferir que no grupo sucessional das espécies de sub-bosque as taxas de emissões de carbono pela mortalidade de outros indivíduos durante o processo de decomposição da matéria orgânica são compensados pela grande quantidade de ingressos de indivíduos no grupo sucessional, qualificando estas espécies como estocadoras de carbono dentro da dinâmica de sucessão.

No grupo das secundárias iniciais e tardias observa-se uma situação inversa, ou seja, a taxa de mortalidade supera o ingresso, com exceção de *Campomanesia xanthocarpa* (Guabirova), o que faz com que à medida que ocorre o declínio destas espécies dentro da dinâmica de sucessão, as mesmas, principalmente a *Machaerium paraguayense* (Canela-do-brejo) e o *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco), modifiquem seu comportamento quanto ao potencial de estoque, e passam a ser fonte de carbono dentro da floresta, à medida que evoluiu o estágio sucessional.

Por exemplo, no estudo realizado por Higuchi et al. (2004) em uma Floresta Primária da Amazônia, não perturbada, as taxas de ingresso ou mortalidade se mantiveram iguais ao longo de 14 anos (1996 – 2000), em torno de 0,7%, e o incremento médio anual em carbono nesta florestas foi de $1,2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Analisando a floresta secundária estudada como um todo, se verifica que as altas taxas de mortalidade apresentam-se no momento compensadas pelas elevadas taxas de ingresso do sub-bosque, o que garante um saldo positivo no incremento médio de carbono dentro da floresta. Com base nisto é importante à continuidade das medições para que se observe o impacto de futuras mudanças nas taxas de ingresso e mortalidade, principalmente no sub-bosque e secundárias iniciais, que futuramente podem vir a modificar o comportamento do ciclo do elemento, ao se atingir a condição clímax (Floresta Madura).

5 CONCLUSÕES

Para a dinâmica do carbono orgânico na mata secundária da Floresta Estacional Decidual, em Santa Tereza, RS, com base no presente estudo conclui-se que:

Para o Camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides*), os modelos matemáticos para estimativa da quantidade carbono estocados nas frações de sua biomassa aérea, ficaram assim definidos: $C = b_0 + b_1 h_c^2$ para as frações folhas, $C = b_0 + b_1 h_c^2 + b_2 1/1,3 - d$ para os galhos mortos, $C = b_0 + b_1 d$ para cascas e $C = b_0 + b_1 d^2$ para as frações galhos vivos e madeira. A prioridade de alocação do carbono, na espécie observada foi: madeira > galhos vivos > cascas > galhos mortos > folhas. A espécie apresentou comportamento de declínio dentro da dinâmica da floresta e do carbono, dado a superioridade em valores da taxa de mortalidade (3,3%) em relação a taxa de ingresso de indivíduos (0,8%), que, futuramente, pode qualificar a espécie como fonte de carbono na sucessão;

Para a Canela-do-brejo (*Machaerium paraguariense*) obteve-se as seguintes equações matemáticas: $\ln C_f = b_0 + b_1 d^2 h_c$ para a fração folhas, $\ln C_{gv} = b_0 + b_1 d^2 + b_2 1/d^2$ para a fração galhos vivos, $C_c = b_0 + b_1 h_t^2$ para a fração cascas e $C_m = b_0 + b_1 h_t + b_2 h_t^2 + b_3 1/h_t$. A prioridade de alocação do carbono na espécie observada foi: madeira > galhos vivos > cascas > folhas. A Canela-do-brejo foi à única espécie a apresentar incrementos negativos de carbono para todas as frações da biomassa, sendo qualificada como fonte de carbono dentro da sucessão, o que se deve ao seu acentuado declínio, ocasionado pela taxa de ingresso nula e elevada taxa de mortalidade de indivíduos, que chega a 8,1%;

Para o Catiguá-vermelho (*Trichilia clausenii*) obteve-se as seguintes equações matemáticas: $C = b_0 + b_1 d$ para a fração folhas e cascas, $\ln C_{gv} = b_0 + b_1 d$ para a fração galhos vivos e $\ln C_m = b_0 + b_1 1/d^2$ para a fração madeira. A prioridade de alocação do carbono na espécie observada foi: madeira > galhos vivos > folhas > cascas. A superioridade da fração folhas em relação à fração cascas, se deve, principalmente, ao fato da espécie encontrar-se em pleno desenvolvimento dentro da sucessão (jovem), com taxas de ingresso de 22,3% e de mortalidade

de apenas 1,8%, resultando em uma densidade média de 140 indivíduos por hectare, e também, pela alta competição dentro do estrato a qual a espécie pertence (sub-bosque);

Para o Chal-chal (*Allophylus edulis*) obteve-se as seguintes equações matemáticas: $C_f = b_0 + b_1 d^3$ para a fração folhas, $C_{gv} = b_0 + b_1 d$ para a fração galhos vivos, $C_{gm} = b_0 + b_1 1/h_c^2$ para a fração galhos mortos; $C_c = b_0 + b_1 d^2$ para a fração cascas e $C_m = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$ para a fração madeira. A prioridade de alocação do carbono na espécie observada foi: madeira > galhos vivos > galho morto > cascas > folhas. As taxas de ingresso e mortalidade observadas na espécie foram respectivamente de 0,6% para o ingresso de novos indivíduos e 2,3% para a mortalidade;

Para a Guabirova (*Campomanesia xanthocarpa*) obteve-se as seguintes equações matemáticas: $C_f = b_0 + b_1 d^3$ para a fração folhas, $\ln C_{gv} = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h_c^2 + b_3 1/h_c$ para a fração galhos vivos, $\ln C = b_0 + b_1 1/d^2$ para as frações cascas e madeira. A prioridade de alocação do carbono na espécie observada foi: madeira > galhos vivos > folhas > cascas. A Guabirova foi a única espécie, do grupo das secundárias iniciais, que não apresentou uma acentuada inversão nas prioridades de alocação de carbono entre os tecidos de copa e fuste, garantindo uma distribuição equilibrada entre as frações destes compartimentos, o que garante a sua continuidade na sucessão e no dosel superior até no estágio clímax (Floresta madura), associado também ao equilíbrio entre as taxas de ingresso e mortalidade na espécie que se equivaleram a 0,5%;

Para a Laranjeira-do-mato (*Gymnanthes concolor*) obteve-se as seguintes equações matemáticas: $C_f = b_0 + b_1 d^3$ para a fração folhas, $\ln C_{gv} = b_0 + b_1 d^2 + b_2 1/d^2 + b_3 1/h_c^2$ para a fração galhos vivos, $C_c = b_0 + b_1 1/d^2$ para a fração cascas e $C_m = b_0 + b_1 d^2$ para a fração madeira. A prioridade de alocação do carbono na espécie seguiu igualmente a tendência encontrada para o Catiguá-vermelho, onde se observa: madeira > galhos vivos > folhas > cascas. As taxas de ingresso de indivíduos e mortalidade se equivaleram em 2%;

Para Pau-de-ervilha (*Trichilia elegans*) obteve-se as seguintes equações matemáticas: $C_f = b_0 + b_1 h_c$ para a fração folhas, $C_{gv} = b_0 + b_1 1/1,3-d + b_2 1/1,3-h_c$ para a fração galhos vivos e $C_m = b_0 + b_1 d^3$ para a fração madeira. As taxas de ingressos de indivíduos e mortalidade na

espécie apresentaram valores respectivos de 8% e 1,2%. O comportamento da prioridade de alocação de carbono no Pau-de-ervilha apresentou-se diferenciado em relação às demais espécies do grupo sub-bosque, pois se observou a seguinte ordem: madeira > cascas > galhos vivos > folhas, o que indica que a espécie encontra-se madura (adulto) dentro da floresta, pois ocorre uma inversão total na alocação de carbono, onde permanecem como prioridade de alocação do carbono para a formação de tecidos de reserva (madeira e cascas);

Com base nos teores de carbono amostrados, nas frações da biomassa aérea das espécies estudadas, observou-se que o maior potencial de concentração na fração folhas foi obtido pelas espécies *Trichilia clausenii* (Catiguá-vermelho) e *Matayba elaeagnoides* (Camboatá-branco), para galhos vivos e mortos foi a espécie Camboatá-branco, para casca Pau-de-ervilha. Enquanto que na fração madeira, as espécies não diferiram entre si, demonstrando um alto potencial de concentração de carbono orgânico nesta fração;

A quantidade de carbono estocada na Floresta Secundária, com base no grupo de espécies estudadas, foi de 7,7 Mg ha⁻¹, as taxas de ingresso e mortalidade de indivíduos foram respectivamente de 4,9% e 2,7%. A prioridade de alocação de carbono na floresta seguiu a presente tendência: madeira > galhos vivos > cascas > folhas > galho morto;

A espécie que apresentou as maiores quantidades de carbono estocadas nas frações folhas, galhos vivos, galhos mortos e madeira foi o Chal-chal (*Allophylus edulis*), o que a qualifica como a espécie mais promissora, ao lado de espécies como a Guabirova (*Campomanesia xanthocarpa*) e as espécies do gênero *Trichilia* e demais estudadas, para o seqüestro de carbono com fins conservacionistas. Apenas na fração casca que a espécie alocou as maiores quantidades foi o Camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides*);

Dentre os grupos sucessionais da Floresta, observou-se que, para as frações galhos vivos e mortos e na madeira, o maior potencial de acúmulo foi apresentado pelas espécies do grupo das secundárias iniciais, enquanto que nas cascas ocorreu uma equivalência na alocação entre os grupos da secundária inicial e tardia, na fração folhas a maior quantidade do elemento foi encontrada nas espécies do sub-bosque, devido, principalmente, a típica competição por

luminosidade entre as espécies formadoras deste estrato e a elevada densidade de indivíduos por área;

6 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados apresentados no estudo, recomenda-se:

Estudos para avaliar o potencial das espécies do gênero *Trichilia*, para a produção de tanino, dados seus elevados incrementos de carbono, encontrados nas cascas das espécies *Trichilia elegans* (Pau-de-ervilha), nas quais o incremento para o presente estudo foi $8,2 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e para *Trichilia clausenii* (Catiguá-vermelho) foi de $3,5 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com base em vários autores, que na literatura, ressaltam o potencial das espécies e colocam que a produção destes compostos está diretamente interligada à capacidade das espécies vegetais em acumular carbono orgânico em seus tecidos;

O emprego destas espécies para projetos de seqüestro de carbono com fins conservacionistas, deve ser prioritário na forma de enriquecimento de fragmentos florestais nativos degradados. Em situações que se objetive o reflorestamento com espécies nativas, é necessário, de igual forma, que se observe a dinâmica sucessional, começando o mesmo por espécies de caráter pioneiro, e que também se estude o potencial de seqüestro de carbono destas espécies, de forma a compensar as emissões à medida que se processe a sucessão da floresta;

Diante dos resultados apresentados pelo estudo, reforça-se a necessidade da continuidade das medições de crescimento, para que se observe o impacto de futuras mudanças nas taxas de ingresso e mortalidade, principalmente no sub-bosque e secundárias iniciais, que, futuramente, podem vir a modificar o comportamento do ciclo do elemento, ao se atingir a condição clímax (Floresta Madura).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. A. Compensação de emissões – jogo limpo. Publicado em: **Revista Agroanalysis**. v. 19. n. 11, 1999 Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acessado em: 25/06/2003.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do sul: guia de identificação e interesse ecológico**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 326 p. 2002.

BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estágios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa no sul do Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 19, n. 1, p. 167 – 181, 2005.

BRINKSTER. **O ciclo do carbono**. 2002, 17 p. Endereço eletrônico: <http://www16.brinkster.com>, acessado em:19/06/2002.

BRUN, E. J. **Biomassa e nutrientes na Floresta Estacional Decidual, em Santa Tereza, RS**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CHANG, M. Y. Seqüestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**, p. 15 – 38, 2004.

DUZ, S. R.; SIMINSKI, A.; SANTOS, M.; PAULILO, M. T. S. Crescimento inicial de três espécies arbóreas da Floresta Atlântica em repostas à variação na quantidade de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 3, p. 587 – 596, 2004.

FINGER, C. A. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 269 p., 1992.

GLENDAY, J. Carbon storage and emissions offset potential in na East African Tropical Rain Forest. **Forest Ecology and Management**, n. 235, p. 72 – 83, 2006.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; PINTO, A. C.M.; SILVA, R. P.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295 – 304. 2004.

HOSOKAWA, R. T. **Dinâmica da assimilação de CO₂ pelos reflorestamentos**. 2003. 5p. Endereço eletrônico: <http://www.remade.com.br>, acessado em: 17/06/2003.

JONHSON, C. M.; VIEIRA, I. C.G.; ZARIN, D. J.; FRIZANO, J.; JONHSON, A. H. Carbon storage and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazônia. **Forest Ecology and Management**, n. 147, p. 245 – 252, 2001.

KLEIN, R. M. Aspectos fitofisionômicos da floresta estacional da fralda da Serra Geral (RS). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 34., 1983, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1983, 2 v., v. 1, p. 73-110.

_____. Síntese ecológica da floresta estacional da bacia do Rio Jacuí e importância do reflorestamento com essências nativas (RS). In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5., 1984, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, 1984a. 3 v., v. 2, p. 265-278.

_____. Euphorbiáceas. In: REITZ, R. **Flora ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário “Barbosa Rodrigues”, 1984b. 102 p.

_____. Meliáceas. In: REITZ, R. **Flora ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário “Barbosa Rodrigues”, 1984c. Parte I. 138 p.

KRAPFENBAUER, A. **A importância da floresta no equilíbrio do dióxido de carbono** In: SEMINÁRIO SOBRE A PRODUÇÃO DE CELULOSE NO BRASIL E O MEIO AMBIENTE. Curitiba- PR, 1991. 33p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Editora EPU , 311p., 1986.

_____. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Rima, 531 p., 2000.

LEÃO, R. M. **A floresta e o homem**. São Paulo: Editora EDUSP, 434 p., 2000.

LONGHI, R. A. **Livro das árvores: árvores e arvoretas do sul**. Porto Alegre: Editora L&PM, 176 p., 1995.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 352 p. 1992.

MARCENE, E. A.; CORTE, A. P; SANQUETTA, C. R.; SCHNEIDER, C. R. Variação nos teores e estoques individuais de carbono fixado com o crescimento de *Gmelina arborea* Roxb. na região litorânea do Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 55 – 63, 2006.

MARCHIORI, J. N.C. **Dendrologia das angiospermas: leguminosas**. Santa Maria: Editora da UFSM, 200 p., 1997.

MEDEIROS, J. A. F. **Quantificação de biomassa e carbono orgânico na regeneração natural de Floresta Ombrófila Mista – Nova Prata, RS**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 149 – 154, 2006.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L., AMORIM, E. L. C. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p. 892 – 896, 2005.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 73 p., 1961.

NISHI, M. H.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R.; NOGUEIRA, H. P.; ALVARENGA, A. P. Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 263 – 270, 2005.

ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. Lisboa: Editora Fundação Calouste Gulbenkian, 927 p., 2001.

PUIG, C. J. Carbon sequestration potencial of land-cover types in the agricultural landscape of eastern Amazônia, Brazil. **Ecology and development series**, n. 33, 75 p., 2005.

REMADE, **Emissões de gases do efeito estufa**. 2003. 7p. Endereço eletrônico: <http://www.remade.com.br>. Acessado em: 23/06/2003.

REZENDE, A. V. O estoque de carbono no cerrado: um estudo de caso. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**, p. 175 – 190, 2002.

_____.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para a estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 65 – 76, 2006.

RIO GRANDE DO SUL, **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. SEMA/UFSM/DEFAP/FDF (Boletim Informativo). Porto Alegre, 2001. 15 p.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, Santa Maria: CEPEF, 236p., 1998.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Editora da UFRGS, Porto Alegre. 2002. 107 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS. 118 p. (Boletim Técnico). 1995.

VACCARO, S.; HESS, A. F.; LONGHI, S. J. Estudo da composição florística e estrutura da vegetação arbórea da sede do município de Santa Tereza - RS. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1992. 2 v., v. 1, p. 395-415.

_____. **Caracterização fitossociológica de três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza - RS**. Santa Maria, 1997. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 1997.

_____. **Crescimento de uma Floresta Estacional Decidual, em três estágios sucessionais no Município de Santa Tereza, RS, Brasil**. Santa Maria, 2002. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

VELOSO, H. P.; GOES FILHO, L. Fitogeografia brasileira, classificação fisionômica ecológica da vegetação Neotropical. **Bol. Téc. Projeto RADAMBRASIL**, Salvador, n. 1, 1982, 80 p. (Série Vegetação).

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. Fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**, p. 153 – 174, 2002.

_____.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. Teores de carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**, p. 95 – 110, 2004.

WOJCIECHOWSKI, J. C. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de Floresta Estacional Decidual. Santa Maria, 2006. 92 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2006.