

DANIEL BRIANÉZI

**ESTOCAGEM E COMPENSAÇÃO DE CARBONO PELAS ÁRVORES DO
CAMPUS-SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em
Ciência Florestal, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS –BRASIL
2012**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B849e
2012 Brianézi, Daniel, 1986-
Estocagem e compensação de carbono pelas árvores do
campus-sede da Universidade Federal de Viçosa / Daniel
Brianézi. – Viçosa, MG, 2012.
xiii, 144f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Compensação de carbono. 2. Gases estufa - Inventários.
 3. Arborização das cidades. 4. Campi universitários.
 5. Mudanças climáticas. I. Universidade Federal de Viçosa.
- II. Título.

CDD 22. ed. 634.916114

DANIEL BRIANÉZI

**ESTOCAGEM E COMPENSAÇÃO DE CARBONO PELAS ÁRVORES DO
CAMPUS-SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em
Ciência Florestal, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.**

APROVADA: 13 de fevereiro de 2012.

Wantuelfer Gonçalves

Cláudio Mudado Silva

**Carlos Pedro Boechat Soares
(Coorientador)**

**Laércio Antônio Gonçalves Jacovine
(Orientador)**

“No orvalho das manhãs que podemos sentir na pele cada gota do amanhecer através das folhas mortas pelo chão com cheiro de relva molhada. Aí sim está a nossa sobrevivência, através da pureza do ar sobre nossas vidas.”

Chiquinho da Floresta

“É triste pensar que a natureza fala e que o gênero humano não ouve.”

Victor Hugo

“Nenhuma atividade do bem é insignificante...As mais altas árvores são oriundas das minúsculas sementes.”

C. Xavier

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos mentores espirituais pela intuição e sabedoria.

À toda a minha família, em particular meus queridos pais, Zenóbio e Laurete, pelo amor e apoio constante, superando distâncias e dificuldades. A minha irmã Priscila e meu cunhado Rodrigo pelo carinho e incentivo.

Ao professor, orientador e acima de tudo amigo, Laércio Antônio Gonçalves Jacovine pelo seu exemplo como pessoa e profissional, sempre presente e solícito.

Ao Professor Carlos Pedro Boechat Soares, pela co-orientação, conselhos e auxílios sempre que necessário.

Ao Professor Wantuelfer Gonçalves, pela amizade, confiança e ajuda.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial Alexandre, Chiquinho, Imaculada, Jamile, Marquione e Ritinha pela atenção e cuidados.

À Universidade Federal de Viçosa e a todos os seus funcionários que colaboraram com este estudo, direta e indiretamente, e me proporcionaram grande aprendizado.

Ao Geraldo Marcos Rodrigues e a toda a Divisão de Parques e Jardins da UFV pelo enorme apoio para realização deste trabalho.

Aos estagiários e amigos Amanda, Bruninho, Bruno (Celhão), Cássia, João Paulo, Marcos, Renato, Ricardo, Rogério, Samuel e Villa e tantos outros que colaboraram comigo.

A todos do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira – LAPEM, em especial à Prof.^a Angélica de Cássia (Cassinha) e ao Aylson (Tito) pelo auxílio.

Ao Renato de Castro pelas dicas e auxílio nos dados estatísticos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à FAPEMIG pelo apoio financeiro e concessão de bolsas.

Aos amigos e companheiros do Grupo de Estudos em Economia Ambiental (GEEA), em particular: Carlos, Erlon, Fabiano, Ricardo, Sabina e Vanessa, que ao longo dos anos, tem me ensinado muitas coisas.

À minha namorada Rafaela e toda a família Bertolato e Vicente, minha segunda família, que me proporcionam grande conforto e alegrias.

Aos companheiros de república: Capixaba, Bruno, Henrique, Marolo, Pi e Teta pelas boas risadas e ajuda sempre que necessária ao longo destes anos.

E a todos os meus amigos de Viçosa e do mundo por estarem sempre presentes.

BIOGRAFIA

Daniel Brianézi, filho de Zenóbio Brianézi e Laurete da Conceição Brianézi, nasceu no dia 01 de dezembro de 1986, na cidade de Pouso Alegre, sul de Minas Gerais.

Em 2004, concluiu o ensino médio no Instituto de Educação e Ensino de Pouso Alegre, na mesma cidade.

Em 2005, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, tendo concluído em janeiro de 2010.

Em Março de 2010, ingressou no programa de Pós Graduação, em nível de mestrado, em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2012.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMO | ix |
| ABSTRACT | xiii |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL..... | 1 |
| CAPÍTULO 1..... | 4 |
| CARACTERIZAÇÃO DA ARBORIZAÇÃO DO <i>CAMPUS</i>-SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA..... | 4 |
| RESUMO | 4 |
| ABSTRACT | 6 |
| 1. INTRODUÇÃO | 7 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 9 |
| 2.1. Descrição da área de estudo..... | 9 |
| 2.2. Identificação botânica dos indivíduos..... | 9 |
| 2.3. Análise dos dados..... | 10 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 12 |
| 3.1. Caracterização florística..... | 12 |
| 3.2. Características fitossanitárias..... | 21 |
| 4. CONCLUSÕES | 23 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 24 |
| CAPÍTULO 2..... | 26 |
| ESTOCAGEM DE CARBONO PELA ARBORIZAÇÃO DO <i>CAMPUS</i>- SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA..... | 26 |
| RESUMO | 26 |
| ABSTRACT | 28 |
| 1. INTRODUÇÃO | 30 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 32 |
| 2.1. Local do estudo..... | 32 |
| 2.2. Inventário arbóreo..... | 32 |
| 2.3. Seleção de árvores-amostra..... | 32 |
| 2.4. Determinação do volume do fuste e dos galhos pelo método não destrutivo..... | 42 |
| 2.5. Determinação da densidade básica da madeira..... | 43 |
| 2.6. Determinação da biomassa e carbono..... | 46 |

| | |
|---|------------|
| 2.7. Seleção de modelos para estimar o carbono das árvores | 47 |
| 2.8. Incremento em carbono..... | 49 |
| 2.9. Estoque de carbono na unidade de área | 50 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 51 |
| 3.1. Características gerais..... | 51 |
| 3.2. Densidade básica da madeira..... | 55 |
| 3.3. Seleção de equações..... | 60 |
| 3.4. Estoque de carbono..... | 64 |
| 3.5. Incremento de carbono..... | 66 |
| 3.6. Estoque de carbono por área ocupada pela arborização no <i>campus</i> ... | 69 |
| 4. CONCLUSÕES | 71 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 72 |
| CAPÍTULO 3..... | 75 |
| INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO <i>CAMPUS</i>-SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA | 75 |
| RESUMO | 75 |
| ABSTRACT | 76 |
| 1. INTRODUÇÃO | 77 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 79 |
| 2.1. Definição dos limites e período do inventário..... | 79 |
| 2.2. Classe de rigor (Tier) | 80 |
| 2.3. Fontes de emissão neutras | 81 |
| 2.4. Potencial de Aquecimento Global (PAG) | 81 |
| 2.5. Coleta de dados | 82 |
| 2.6. Cálculo das emissões de GEE | 83 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 96 |
| 3.1. Emissão direta (Escopo 1) | 96 |
| 3.2. Emissões indiretas | 104 |
| 3.3. Outras emissões indiretas..... | 107 |
| 3.4. Emissões totais de GEE por escopo..... | 111 |
| 4. CONCLUSÕES | 114 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 116 |
| CAPÍTULO 4..... | 119 |

| | |
|---|-----|
| BALANÇO DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO <i>CAMPUS</i>-SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA | 119 |
| RESUMO | 119 |
| ABSTRACT | 121 |
| 1.INTRODUÇÃO | 122 |
| 2.MATERIAL E MÉTODOS | 124 |
| 2.1.Descrição do local de estudo | 124 |
| 2.2.Conversão de carbono em CO₂eq | 124 |
| 2.3.Cálculo do balanço de emissões de GEE | 124 |
| 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO | 127 |
| 3.1.Balanço de emissões e remoções de GEE urbanas | 127 |
| 3.2.Balanço de emissões e remoções de GEE rurais | 128 |
| 3.3.Balanço geral (urbano e rural) | 131 |
| 4.CONCLUSÕES | 135 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 137 |
| 2.CONCLUSÕES GERAIS | 140 |
| ANEXOS | 141 |

RESUMO

BRIANÉZI, Daniel. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Estocagem e compensação de carbono pelas árvores do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Pedro Boechat Soares.

O objetivo geral deste estudo foi inventariar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) das principais atividades do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e avaliar o potencial de estocagem e compensação de carbono pela arborização da UFV. Deste modo, a pesquisa, dividida em quatro capítulos, foi realizada no *campus*-sede da UFV localizado no município de Viçosa, MG. No capítulo 1, realizou-se o levantamento arbóreo das vias de acesso, estacionamentos e arboretos da UFV, identificando 100% das espécies encontradas, além da frequência dos indivíduos, condição fitossanitária e dispersão. Foram inventariados 2.893 indivíduos, distribuídos em 114 espécies e 34 famílias botânicas, sendo duas espécies pertencentes ao grupo das gimnospermas. O oiti, *Licania tomentosa*, é a espécie mais plantada, totalizando 448 indivíduos, seguida de *Michelia champaca* (magnólia) com 304 árvores. No capítulo 2, quantificou-se o estoque de carbono presente na arborização do *campus*-sede da UFV, por meio de equações alométricas ajustadas para estimar carbono das árvores individuais. A partir dos dados de cubagem rigorosa em pé dos indivíduos arbóreos, de densidade básica e do teor de carbono adotado, calculou-se o carbono presente nas árvores-amostra. Posteriormente, foram avaliados os modelos de Schumacher e Hall (1933) e Spurr (1952), modificados para estimar o carbono total presente na arborização do *campus*. O modelo de Schumacher e Hall (1933) foi o que apresentou maior precisão para o carbono total e dos galhos. As árvores apresentaram, em média, 221,24 Kg de carbono por indivíduo, valor superior ao encontrado para as palmeiras que foi de 101,50 KgC.indivíduo⁻¹. Com base na idade de plantio das árvores do *campus*, obteve-se um Incremento Médio Anual em Carbono (IMAC) de 7,79 KgC.indivíduo⁻¹.ano⁻¹. A espécie *Lecythis pisonis* (sapucaia) foi a que apresentou maior incremento, resultando em 27,60 KgC.indivíduo⁻¹.ano⁻¹, sendo assim, uma das mais indicadas para arborização, quando idealiza-se a compensação de carbono. Analisando a área de copa ocupada pelos indivíduos avaliados, com média de 25 anos, obteve-se um estoque médio de carbono de 54,0 tC.ha⁻¹, resultado superior ao encontrado em florestas nativas do Cerrado *stricto sensu* e na Caatinga, mas inferior ao encontrado em outras tipologias

florestais. No capítulo 3, quantificou-se as emissões de GEE das atividades desenvolvidas no *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa. Com base na ABNT NBR ISO 14.064 (2007) e nas diretrizes do GHG Protocol Brasil, definiu-se os limites organizacionais e operacionais do inventário, seus escopos e as fontes emissoras de GEE. Dentro de cada escopo, quantificou-se as emissões de GEE das fontes emissoras, conforme metodologias desenvolvidas pelo *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (2006). O *campus*-sede da UFV emitiu, durante o ano-base, 6.034,18 tCO_{2e}., sendo o Escopo 1 responsável por 61,0% desta estimativa, destaque para a pecuária (3.071,64 tCO_{2e}.). O manejo dos resíduos sólidos da UFV, que compreende o Escopo 3, foi a segunda maior fonte de emissão de GEE, com 999,70 tCO_{2e}., seguido do tratamento anaeróbico dos efluentes (Escopo 2), com 750,56 tCO_{2e}.. Por fim, no capítulo 4, realizou-se o balanço das emissões e remoções de GEE do *campus*-sede da UFV, pela comparação entre a emissão de GEE do ano-base adotado e o Incremento Médio Anual de Carbono (IMAC) pelos sumidouros da universidade. Para isto, gerou-se, primeiramente, dois balanços: um rural, comparando as emissões da pecuária, principal fonte emissora de GEE da UFV e os sumidouros de carbono da universidade; e outro, denominado urbano, que equiparou as demais emissões de GEE do *campus* com a taxa de fixação de carbono pela arborização. Apesar da arborização do *campus* não neutralizar toda a emissão urbana de GEE da UFV (4,24% das emissões), a mesma contribui para a compensação da emissão de GEE oriunda da queima de biomassa, de GLP e de parte da combustão móvel. Com relação ao balanço rural, ao todo, as áreas de floresta, capoeira e reflorestamento presentes no *campus*-sede da UFV apresentaram uma taxa de fixação anual de carbono de 5.181,47 tCO_{2e}., valor superior à emissão de GEE pela pecuária (3.071,64 tCO_{2e}.), tornando o balanço positivo. Verificou-se que os sumidouros presentes no *campus* fixaram 5.307,16 tCO_{2e}. e compensaram 87,95% das emissões totais (6.034,18 toneladas de CO_{2e}.) da UFV. Deste modo, o balanço geral obtido das emissões e remoções de GEE da UFV foi negativo, sendo que este balanço poderia ser zerado ou até mesmo positivo se adotada outras ações de recomposição vegetal de áreas degradadas na universidade e compensação a nível de indivíduo. Desta forma, conclui-se que as estimativas de fixação de carbono pela arborização obtidas neste estudo podem ser usadas como referência para o estabelecimento de projetos de neutralização de carbono em ambientes verdes urbanos, como contribuição à mitigação das mudanças climáticas e geração de serviços ambientais à população. Entretanto, a iniciativa não se resume a ela mesma. Assim, é importante que a mesma esteja

interligada com outras ações de compensação, como a conservação florestal e plantios de recomposição vegetal em áreas degradadas; e de redução de emissões de GEE.

ABSTRACT

BRIANÉZI, Daniel. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2012. **Storage and carbon offset tree planting by the principal campus of the Universidade Federal de Viçosa.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-Adviser: Carlos Pedro Boechat Soares.

The aim of this study was to inventory emissions of Greenhouse Gases (GHG) of the main activities of the principal campus of Universidade Federal de Viçosa (UFV) and evaluated the potential for storage and carbon offset by tree planted into the University. Thus, the study, divided into four chapters, was held at the campus of UFV located in Viçosa, MG. In chapter 1, there was a tree survey of access roads, car parks and arboretums of the UFV, identifying 100% of the species found, and the frequency of individuals, plant condition and dispersion. Was inventoried 2893 individuals belonging to 114 species and 34 botanical families, with two species of gymnosperms group. The oiti, *Licania tomentosa* is the species most planted, totaling 448 individuals, followed by *Michelia champaca* (magnolia) with 304 trees. In chapter 2, was quantified the stock of carbon in the trees of campus UFV, across allometric equations for estimating carbon set of individual trees. From the data cubing standing of individual trees, basic density and carbon content, we calculated the carbon present in trees-samples. Thereafter, were evaluated the Schumacher and Hall (1933) and Spurr (1952), modified, models to estimate the total carbon present in the trees on campus. The model of Schumacher and Hall (1933) showed the highest accuracy for the total carbon and carbon of twigs. The trees had, an average, 221.24 kg of carbon per individual, higher than found for the palm trees, 101.50 KgC.individual⁻¹. Based on the age of planting trees on campus, was obtained a mean annual increment on carbon of 7.79 KgC.individual⁻¹.year⁻¹. The species *Lecythis pisonis* (sapucaia) showed the highest increase, resulting in a 27.60 KgC.individual⁻¹.year⁻¹, one of the most appropriate for afforestation, when thinking about carbon offsetting. Looking at the canopy area occupied by the individuals, with an average of 25 years, was obtained an average carbon stock of 54.0 tC.ha⁻¹, higher than that found in native forests of Cerrado and Caatinga *sensu stricto*, but lower than that found in other forest types. In chapter 3, was quantified GHG emissions from activities on principal campus of UFV. Based on ISO 14064 (2007) and the guidelines of the Brazil GHG Protocol, was established the organizational and operational boundaries of the inventory, their scopes and GHG emission sources. In each scope, was quantified

the GHG emissions of all sources, based on methodologies developed by the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006). The UFV *campus* issued during the base year, 6034.18 tCO_{2e}, the Scope 1 was responsible for 61.0% of this estimate, especially for livestock (3071.64 tCO_{2e}). The solid waste management at UFV, which includes Scope 3, was the second highest source of GHG emissions, with 999.70 tCO_{2e}, followed by anaerobic treatment of effluents (Scope 2), 750.56 tCO_{2e}. Finally, in Chapter 4, held the balance of GHG emissions and removals from the *campus* of UFV, comparing the GHG emissions for the base-year adopted and the mean annual increment of carbon by sinks of University. For this, was generated, first, two balances, a rural, comparing emissions from livestock, main GHG emitting source of UFV, and sinks of carbon from the university, and another, called the urban that compared others GHG emissions of campus with the rate of carbon fixation by urban trees. Although not offset all emissions (4.24% of emissions), urban trees offset the GHG emissions arising from biomass burning, LPG and part of annual emissions of the vehicle fleet of UFV. About the rural balance, the areas of forest, scrub and reforestation located in the UFV *campus* showed an annual carbon fixation rate of 5181.47 tCO_{2e}, higher than the GHG emissions by livestock (3071,64 tCO_{2e}), making this positive. Therefore, the overall balance of emissions and removals of the *campus* of UFV was negative, this balance could be zero or positive if taken other actions like reforestation in the university and individual offset. Thus, we conclude that the estimates of carbon fixation by trees obtained in this study can be used as a reference for the establishment of carbon neutral projects in green urban areas, as a contribution to mitigating climate change and the generation of environmental services population. However, the initiative is not about itself. Thus, it is important that it is interconnected with other compensating actions such as forest conservation and planting of vegetation restoration in degraded areas, and reduction of GHG emissions.

1. INTRODUÇÃO GERAL

No ano de 2007, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) relatou em seu quarto relatório como muito provável (90% de certeza) que as mudanças climáticas que estão ocorrendo no mundo decorrem da ação do homem (IPCC, 2007).

As atividades antrópicas, dentre elas a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento têm aumentado a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) como o dióxido de carbono, potencializando o aquecimento global e trazendo consequências negativas ao ambiente (RIBEIRO, 2007).

O Brasil, país em desenvolvimento e não-Anexo I ao Protocolo de Quioto, não possui metas de redução de emissões de GEE até 2012. Entretanto, na 15ª Conferência das Partes (COP-15) ocorrida no final de 2009 em Copenhague, os países signatários, como o Brasil, se comprometeram a reduzir suas emissões de maneira voluntária.

A Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), aprovada pela Presidência da República ao final de 2009, em seu artigo 12, relata que há o compromisso nacional de ações de mitigação das emissões de GEE, visando a diminuição de 36,1% a 38,9% das emissões brasileiras projetadas até 2020.

A PNMC aborda a utilização de instrumentos financeiros e econômicos para promover ações de mitigação e adaptação à mudança do clima, como medidas fiscais e tributárias fomentadoras da redução das emissões e da remoção de GEE, incluindo alíquotas diferenciadas, isenções, compensações e incentivos.

Alguns estados brasileiros também possuem políticas relacionadas às mudanças climáticas. O estado de São Paulo, por exemplo, estabeleceu a Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009 que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC). Uma das principais diretrizes da nova lei é elaborar, atualizar periodicamente e colocar à disposição pública inventários de emissões antrópicas de GEE.

Desta maneira, o inventário corporativo de emissões de GEE além de ser uma ferramenta que possibilita prefeituras, empresas e instituições controlarem sua geração de GEE e minimizar seus impactos negativos ao meio ambiente, é uma estratégia fundamental para que as determinações legais relativas às mudanças climáticas sejam cumpridas no Brasil (GHGPROTOCOLBRASIL, 2011).

Paralelo a isso, têm-se realizado a neutralização de GEE, ou seja, a retirada da atmosfera dos gases emitidos pelas atividades humanas que contribuem para o efeito estufa, por meio do plantio de árvores.

As árvores, através da atividade fotossintética, podem desempenhar este papel de neutralização em maior ou menor magnitude, variando de acordo com fatores externos e intrínsecos à planta.

Diversas empresas têm realizado plantios de árvores, a fim de compensar as emissões advindas de eventos, viagens, processos industriais e hábitos pessoais.

Comumente é utilizado para estimar o sequestro de carbono em determinada área a adoção de fatores de incremento de carbono médios, baseados em estudos realizados em diferentes biomas e até em árvores de rápido crescimento, utilizadas para reflorestamento. Todavia, não há pesquisas referentes à estocagem de carbono pelas árvores urbanas e, conseqüentemente, não há um banco de dados com relação ao sequestro de carbono por estas árvores.

As áreas verdes urbanas, se bem planejadas e monitoradas, podem vir a gerar atrativos econômicos diretos e indiretos adicionais para o município, através, por exemplo, da geração de “créditos de carbono” futuros ou como forma de demonstrar a sua preocupação ambiental por meio da realização do seu balanço e de ações de arborização para compensar as emissões de GEE.

Além disso, as compensações de carbono de órgãos e instituições públicas e privadas podem ser feitas com plantios arbóreos na própria cidade, recuperando áreas degradadas; preservando e conservando áreas de suma importância ambiental e fortalecendo a educação ambiental.

Dessa forma, é importante o incentivo à prática de quantificação de GEE em empresas, organizações e instituições, principalmente universidades, pois estas estão sempre na vanguarda do conhecimento e influenciam toda uma sociedade. Ademais, faz-se necessário a realização de estudos para aprimoramento de projetos de compensação de carbono, principalmente em arborização urbana.

Neste sentido, objetivou-se com este estudo inventariar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) das principais atividades do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e avaliar o potencial de estocagem e compensação de carbono pela arborização do *campus* da UFV.

Para melhor entendimento do conteúdo, este trabalho foi dividido em quatro capítulos. O Capítulo 1 refere-se ao levantamento arbóreo realizado no *campus*-sede da

Universidade Federal de Viçosa, no qual foi realizado uma caracterização dos indivíduos arbóreos, quanto à espécie botânica, frequência, condição fitossanitária e dispersão.

O Capítulo 2 teve como objetivo quantificar o estoque de carbono presente na arborização do *campus*-sede da UFV. Também foram geradas equações para estimação de carbono, contribuindo para o conhecimento sobre a capacidade das áreas verdes urbanas no sequestro e estocagem de carbono.

Já o Capítulo 3 objetivou identificar as fontes emissoras de GEE do *campus*-sede da UFV e quantificar estas emissões durante o ano-base adotado (outubro de 2010 a outubro de 2011).

Por fim, o Capítulo 4 é um fechamento do estudo realizado. Neste capítulo é apresentado um balanço, considerando as emissões e o estoque de carbono, do *campus*-sede da UFV, destacando a importância das áreas verdes urbanas, principalmente a arborização, na mitigação dos problemas climáticos e na geração de serviços ambientais à população.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO DA ARBORIZAÇÃO DO CAMPUS-SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RESUMO

BRIANÉZI, Daniel. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Caracterização da arborização do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Pedro Boechat Soares.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) apresenta grande destaque nas áreas de ensino, pesquisa e extensão e se preocupa com o cultivo e a manutenção de suas áreas verdes. Estudos relacionados à arborização urbana em instituições de ensino têm crescido. Entretanto, há a necessidade de estudos mais aprofundados e que permitam pesquisas relacionadas aos serviços ambientais gerados por estas áreas. Desta forma, objetivou-se com o presente estudo realizar uma caracterização da arborização do *campus*-sede da UFV, levantando suas características botânicas, frequência dos indivíduos, condição fitossanitária e dispersão. Coletou-se material vegetativo para identificação botânica das árvores presentes nas vias de acesso, estacionamentos e arboretos do *campus*-sede da UFV durante o período de dezembro a fevereiro de 2011. Além disso, todos os indivíduos receberam uma placa de identificação e foram georreferenciados utilizando um GPS de navegação. Foi realizada uma análise “in loco” das condições fitossanitárias de cada indivíduo e classificado em: bons, regulares ou ruins. Foram levantados 2.893 indivíduos, distribuídos em 114 espécies e 34 famílias botânicas, sendo duas espécies pertencentes ao grupo das gimnospermas. A família Fabaceae apresentou o maior número de espécies (31). O oiti, *Licania tomentosa*, é a espécie mais plantada, totalizando 448 indivíduos, seguida de *Michelia champaca* (magnólia) com 304 árvores. 57,38% das árvores se encontram sadias e em bom estado fitossanitário. Quanto à origem, notou-se prevalência de espécies nativas (58,26%) em relação às espécies exóticas. A maior parte das árvores se encontra plantada na principal avenida da UFV, a Av. P.H. Rolfs, entretanto o arboreto da reitoria é o local em que há maior concentração de espécies arbóreas. Conclui-se que há uma preferência pelo plantio das espécies *Licania tomentosa* (oiti) e *Michelia champaca* (magnólia) no

campus-sede da Universidade Federal de Viçosa, principalmente devido às suas características botânicas e importância cultural. A arborização do *campus* caracteriza-se por apresentar grande riqueza de espécies, mas pouca heterogeneidade, pois a maior parte dos indivíduos se concentra em poucas espécies.

ABSTRACT

BRIANÉZI, Daniel. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa. February, 2012. **Characterization of the trees on principal campus of Universidade Federal de Viçosa.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-Adviser: Carlos Pedro Boechat Soares.

The Universidade Federal de Viçosa (UFV) has great prominence in teaching, research and extension and cares about the planting and maintenance of its green areas. Studies related to urban areas in educational institutions have grown. However, there is a need for further studies and to allow searches related to environmental services generated by these areas. Thus, the objective was to conduct this study with a characterization of trees on campus at UFV, raising their botanical characteristics, frequency of individuals, plant condition and dispersion. Vegetative material was collected for botanical identification of trees present in the access roads, parking lots and arboretums of the UFV campus during the period from December 2010 to February 2011. Furthermore, all individuals received a nameplate and were georeferenced using a GPS navigation. Was analyzed "in situ" the plant health of each individual and classified as: good, fair or bad. 2893 individuals were collected, distributed in 114 species and 34 botanical families, with two species belonging to the group of gymnosperms. The family Fabaceae showed the greatest number of species (31). The oiti, *Licania tomentosa* is the species most planted, totaling 448 individuals, followed by *Michelia champaca* (magnolia) with 304 trees. 57.38% of the trees are healthy and in good sanitary condition. As to the origin, noted a prevalence of native species (58.26%) in relation to exotic species. Most trees are planted on the main avenue of the UFV, Avenue P.H. Rolfs, however the arboretum of the rectory is the site at a higher concentration of tree species. Concluded that there is a preference for planting *Licania tomentosa* (oiti) and *Michelia champaca* (Magnolia) in principal campus of UFV mainly due to its botanical characteristics and cultural importance. The trees on campus is characterized by having high species richness, but little heterogeneity, because most individuals are concentrated in a few species.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Milano (1988), a arborização urbana é o conjunto de áreas públicas e privadas com vegetação predominantemente arbórea ou em estado natural, que o município apresenta, incluindo as árvores de ruas e avenidas, parques públicos e demais áreas verdes.

Diversos são os benefícios atribuídos à presença de espaços verdes nas cidades, como melhoria do microclima; beleza cênica; barreira natural contra ruídos e ventos; bem-estar psíquico; dentre outros.

Malavasi & Malavasi (2001) estudando a percepção dos moradores do município de Marechal Cândido Rondon, no Paraná, acerca da arborização urbana local, verificaram que 59% dos questionados declararam-se favoráveis a contribuir financeiramente com a manutenção da arborização da cidade.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) é formada por três campi: Viçosa, Florestal e Rio Paranaíba, todos em Minas Gerais. Ao todo, a UFV possui 67 cursos de graduação e 22 cursos de pós-graduação distribuídos nas áreas de agrárias, exatas, humanas e saúde (UFV, 2009). A UFV é reconhecida nacionalmente e internacionalmente por seus pilares em ensino, pesquisa e extensão, e também pela sua arquitetura e paisagismo.

A presença das áreas verdes propiciou que atividades de lazer e esportivas como caminhadas e passeios ao longo da “reta” da UFV se tornassem ações costumeiras pela população universitária e viçosense, que busca melhorias na saúde física e mental.

Conforme disposto no Capítulo 2, Art. 3º, alínea I, do Plano de Desenvolvimento Físico e Ambiental da UFV (PDFA, 2008):

“o Campus desempenha a função de parque urbano, para a população viçosense, e deve ter essa vocação consolidada e valorizada.”

Destaca-se aqui o papel do *campus* para os munícipes, pois a cidade não possui outro parque ou ambiente com área verde adequado para prática de atividades físicas e de lazer.

Ainda de acordo com o PDFA, seção IV – áreas verdes, Art.105, alínea I, dentre as ações propostas para a arborização e paisagismo do *campus*, destaca-se a:

“realização de inventários periódicos para conhecimento do patrimônio arbóreo do Campus pela Comissão de Paisagismo, visando à elaboração de uma política de manutenção desse patrimônio.”

Embora a realização de inventários arbóreos seja um compromisso firmado pela universidade, esta atividade ainda é feita de maneira ineficiente pela administração.

Desta maneira, destacam-se a importância e a necessidade de estudos que se proponham identificar a flora arbórea presente no *campus* e com isto, valorizar e zelar por estes espaços.

Assim, objetivou-se neste capítulo, realizar uma caracterização das árvores e palmeiras localizadas no *campus*-sede da UFV, identificando as espécies, apresentando a frequência a indivíduos, a condição fitossanitária e a dispersão dos mesmos no *campus*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição da área de estudo

O *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa está inserido no município de Viçosa, na Zona da Mata Mineira, entre as coordenadas geográficas 42° 52'W e 42° 50'W de longitude e 20° 44'S e 20° 47'S de latitude, totalizando uma área de 1.359 hectares (PORTES et al., 2009).

O clima na região é do tipo Cwa (Köppen), mesotérmico com verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos. A temperatura média anual é de 21,8°C e a precipitação pluviométrica média anual de 1.314,2 mm (CASTRO et al., 1983).

2.2. Identificação botânica dos indivíduos

Percorreu-se todas as vias, estacionamentos e arboretos do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa durante o período de dezembro de 2010 a fevereiro de 2011, levantando e identificando as espécies arbóreas e palmeiras com Diâmetro à Altura do Peito (DAP a 1,30m do solo) de no mínimo 5 cm. Ao todo, oito pontos foram avaliados ao longo do *campus* (Figura 1).

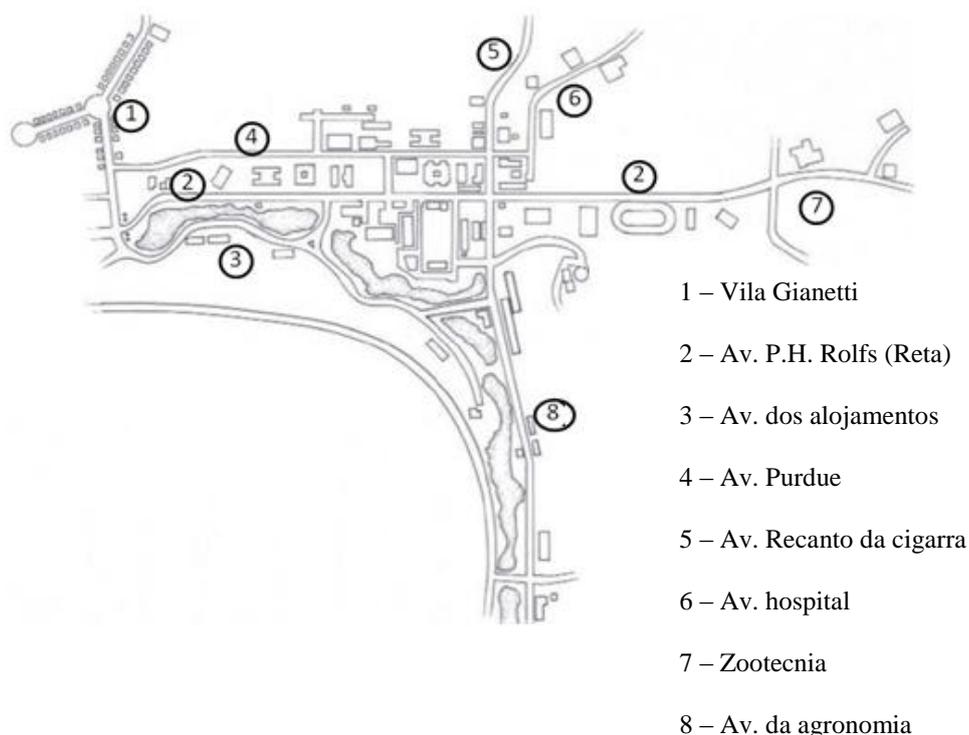


Figura 1 – Mapa das vias de acesso e locais avaliados no *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa. Fonte: Eisenlohr et al. (2008) (Adaptado).

O horto botânico, as árvores localizadas ao fundo de construções ou de difícil acesso, o Recanto das Cigarras, bem como as matas em torno do *campus*-sede da UFV não foram incluídos neste trabalho, pois focou-se a arborização presente nas vias de acesso e estacionamentos.

A identificação botânica dos indivíduos foi realizada a partir da coleta de material vegetativo, uso de máquina fotográfica digital e observações “in loco” de características singulares da planta, como exsudações. Paralelamente, consultou-se literaturas científicas especializadas e o setor de Dendrologia pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal da UFV.

A nomenclatura dos binômios foi feita mediante análise na base de dados de Mobot (2011), a das famílias botânicas baseou-se nos sistemas Angiosperm Phylogeny Group - APG III (2009) para as angiospermas, e Cronquist (1988) para as demais. A origem das espécies foi obtida mediante pesquisa realizada em literaturas científicas.

As árvores estudadas receberam uma placa de identificação e foram georreferenciadas com o uso de um GPS de navegação. Com isso, poderão ser realizados levantamentos periódicos, tornando o inventário permanente, de forma a obter dados das mudanças na composição e nas características dos indivíduos.

Além do levantamento florístico, foi realizada uma análise fitossanitária das árvores levantadas. Desta maneira, os indivíduos foram classificados em bons, para os indivíduos saudáveis, regulares para aqueles com alguma injúria leve e ruins para as árvores doentes ou com injúrias que comprometam seu desenvolvimento. As árvores mortas não fizeram parte do levantamento.

2.3. Análise dos dados

A partir do levantamento botânico realizado no *campus*, os dados foram processados no Microsoft Excel®, no qual fez-se análises e calculou-se a frequência absoluta, relativa e acumulada do número de árvores.

A frequência absoluta do número de árvores refere-se ao somatório do número de indivíduos (n) de uma espécie i . A frequência relativa indica o percentual representativo de determinada espécie i em relação ao total, sendo assim calculada:

$$FR_i = \frac{n_i}{N} * 100 \quad (1)$$

em que

FR_i = Frequência relativa do número de árvores, em porcentagem.

n_i = número de indivíduos da espécie i

N = número total de indivíduos

A frequência acumulada do número de árvores foi obtida pela seguinte expressão:

$$FR_{acum.} = FR_i + FR_{acum.i-1} \text{ para } i \neq 1 \quad (2)$$

em que

$FR_{acum.i}$ = Frequência relativa acumulada até a i -ésima espécie;

FR_i = Frequência relativa da i -ésima espécie;

$FR_{acum. i-1}$ = Frequência relativa acumulada até a espécie anterior.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.Caracterização florística

Foram encontrados 2.893 indivíduos, distribuídos em 114 espécies e 34 famílias botânicas. *Araucaria columnaris*, o pinheiro-de-natal (13 indivíduos); e *Cupressus* sp., o cipreste (4 indivíduos), foram as espécies encontradas pertencentes ao grupo das gimnospermas.

De acordo com a Tabela 1, as famílias com maior número de espécies foram Fabaceae (31), em que 38,71% deste valor foi representado pela subfamília Caesalpinioideae; seguida de Bignoniaceae (10) e Arecaceae (9). Moura et al. (1997) e Lombardi & Morais (2003) também identificaram preferência por espécies destas famílias botânicas em campi universitários, chegando a representar mais de 50% do total de famílias analisadas.

O oiti, *Licania tomentosa*, é a espécie mais plantada em vias de acesso, estacionamentos e arboretos situados ao longo do *campus*-sede da UFV (448 indivíduos), correspondendo a 15,49% do total. A seguir tem-se a *Michelia champaca* (magnólia) e a *Archontophoenix alexandrae* (palmeira da rainha), com 10,51% e 7,33%, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 – Famílias e espécies encontradas no *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa e suas frequências absoluta, relativa e acumulada, em ordem decrescente em 2011

| Família botânica | Nome científico | Nome vulgar | Origem | FA | FR (%) | FR acum. (%) |
|---------------------------|---|--------------------|---------------|-----------|---------------|---------------------|
| Chrysobalanaceae | <i>Licania tomentosa (Benth.) Fritsch</i> | oiti | nativa | 448 | 15,49 | 15,49 |
| Magnoliaceae | <i>Michelia champaca L.</i> | magnólia | exótica | 304 | 10,51 | 26,00 |
| Arecaceae | <i>Archontophoenix alexandrae (F. Muell.) H. Wendl. Drude & Drude</i> | palmeira da rainha | exótica | 212 | 7,33 | 33,33 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Bauhinia variegata L.</i> | pata de vaca | exótica | 195 | 6,74 | 40,08 |
| Lythraceae | <i>Lagerstroemia indica L.</i> | resedá | exótica | 137 | 4,74 | 44,81 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Caesalpinia peltophoroides Benth.</i> | sibipiruna | nativa | 130 | 4,49 | 49,31 |
| Rutaceae | <i>Murraya paniculata L. (Jack)</i> | murta de cheiro | exótica | 127 | 4,39 | 53,70 |
| Bignoniaceae | <i>Spathodea campanulata P. Beauv.</i> | espatódea | exótica | 124 | 4,29 | 57,99 |
| Arecaceae | <i>Roystonea oleracea (Jacq.) O. F. Cook</i> | palmeira-imperial | exótica | 108 | 3,73 | 61,72 |
| Bignoniaceae | <i>Tabebuia serratifolia (Vahl) G.Nicholson</i> | ipê-amarelo | nativa | 106 | 3,66 | 65,39 |
| Bignoniaceae | <i>Tabebuia impetiginosa (Mart ex. D.C) Standl</i> | ipê-roxo | nativa | 61 | 2,11 | 67,50 |
| Combretaceae | <i>Terminalia catappa L.</i> | castanheira | exótica | 59 | 2,04 | 69,54 |
| Melastomataceae | <i>Tibouchina granulosa (Desr.) Cogn</i> | quaresmeira | nativa | 59 | 2,04 | 71,58 |
| Arecaceae | <i>Dyopsis lutescens (H. Wendl.) Beentje & J. Dransf.</i> | areca-bambu | exótica | 54 | 1,87 | 73,44 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Delonix regia (Bojer ex Hook.) Raf.</i> | flamboyant | exótica | 53 | 1,83 | 75,28 |

Continua...

Continuação da Tabela 1.

| | | | | | | |
|---------------------------|--|----------------------------|---------|----|------|-------|
| Arecaceae | <i>Archontophoenix cunninghamii</i> H. Wendl. & Drude | seafórtia | exótica | 49 | 1,69 | 76,97 |
| Sapindaceae | <i>Filicium decipiens</i> (Wight & Arn.) Thwaites | árvore-samambaia | exótica | 48 | 1,66 | 78,63 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | angico-cangalha | nativa | 38 | 1,31 | 79,94 |
| Fabaceae Mimosoideae | <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan. | angico-vermelho | nativa | 32 | 1,11 | 81,05 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Caesalpinia ferrea</i> Mart. ex Tul. var. <i>leiostachya</i> Benth. | pau-ferro | nativa | 23 | 0,80 | 81,85 |
| Malvaceae | <i>Dombeya wallichii</i> (Lindl.) K. Schum | dombéia | exótica | 22 | 0,76 | 82,61 |
| Arecaceae | <i>Latania chinensis</i> Jacq. | palmeira leque da china | exótica | 20 | 0,69 | 83,30 |
| Fabaceae Mimosoideae | <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) Macbr. | pau-jacaré | nativa | 20 | 0,69 | 83,99 |
| Myrtaceae | <i>Callistemon viminalis</i> (Sol.ex Gaertn.) G. Don | escova-de-garrafa-pendente | exótica | 19 | 0,66 | 84,65 |
| Nyctaginaceae | <i>Bougainvillea glabra</i> Choisy | buganville | nativa | 17 | 0,59 | 85,24 |
| Arecaceae | <i>Euterpe oleracea</i> Mart. | açaí | nativa | 17 | 0,59 | 85,82 |
| Lythraceae | <i>Lagerstroemia speciosa</i> L. | regina | exótica | 17 | 0,59 | 86,41 |
| Bignoniaceae | <i>Markhamia tomentosa</i> (Benth.) K. Schum. | falso-ipê | exótica | 17 | 0,59 | 87,00 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Caesalpinia echinata</i> Lam. | pau-brasil | nativa | 15 | 0,52 | 87,52 |
| Malvaceae | <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L. | hibisco | exótica | 14 | 0,48 | 88,00 |
| Araucariaceae | <i>Araucaria columnaris</i> Hook. | pinheiro de natal | exótica | 13 | 0,45 | 88,45 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Cassia grandis</i> L. | cassia rosa | nativa | 13 | 0,45 | 88,90 |

Continua...

Continuação da Tabela 1.

| | | | | | | |
|---------------------------|---|---------------------|---------|----|------|-------|
| Meliaceae | <i>Cedrela fissilis Vell.</i> | cedro | nativa | 13 | 0,45 | 89,35 |
| Myrtaceae | <i>Eugenia uniflora L.</i> | pitanga | nativa | 12 | 0,41 | 89,76 |
| Proteaceae | <i>Grevillea banksii R. Br.</i> | grevilha | exótica | 12 | 0,41 | 90,18 |
| Oleaceae | <i>Ligustrum lucidum W.T. Aiton.</i> | alfeneiro | exótica | 12 | 0,41 | 90,59 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Holocalyx balansae Micheli</i> | alecrim de campina | nativa | 11 | 0,38 | 90,97 |
| Myrtaceae | <i>Psidium guajava</i> | goiaba | nativa | 11 | 0,38 | 91,35 |
| Meliaceae | <i>Swietenia macrophylla</i> | mogno | nativa | 11 | 0,38 | 91,73 |
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Clitoria fairchildiana R. Howard</i> | sombreiro | nativa | 10 | 0,35 | 92,08 |
| Lecythidaceae | <i>Cariniana estrellensis (Raddi) Kuntze</i> | jequitibá-rosa | nativa | 9 | 0,31 | 92,39 |
| Bignoniaceae | <i>Jacaranda mimosifolia D. Don</i> | jacarandá mimoso | nativa | 9 | 0,31 | 92,70 |
| Fabaceae Mimosoideae | <i>Samanea inopinata (Harms) Barneby & J. W. Grimes</i> | sete cascas | nativa | 9 | 0,31 | 93,02 |
| Arecaceae | <i>Caryota mitis Lour.</i> | cariota de touceira | exótica | 8 | 0,28 | 93,29 |
| Moraceae | <i>Ficus benjamina L.</i> | figueira | exótica | 8 | 0,28 | 93,57 |
| Anacardiaceae | <i>Mangifera indica L.</i> | mangueira | nativa | 8 | 0,28 | 93,85 |
| Bignoniaceae | <i>Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth</i> | ipê-mirim | exótica | 8 | 0,28 | 94,12 |
| Malvaceae | <i>Ceiba speciosa (A. St.-Hil.) Ravenna</i> | paineira rosa | nativa | 7 | 0,24 | 94,36 |
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Dalbergia nigra (Vell.) Allemão ex Benth.</i> | jacarandá da bahia | nativa | 7 | 0,24 | 94,61 |
| Bignoniaceae | <i>Tabebuia chrysotricha (Mart. ex DC.) Standl.</i> | ipê amarelo-cascudo | nativa | 7 | 0,24 | 94,85 |
| Fabaceae Mimosoideae | <i>Enterolobium timbouva Mart.</i> | timburí | nativa | 6 | 0,21 | 95,06 |

Continua...

Continuação da Tabela 1.

| | | | | | | |
|-------------------------|--|----------------------|---------|---|------|-------|
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Erythrina falcata Benth.</i> | eritrina | nativa | 6 | 0,21 | 95,26 |
| Fabaceae Mimosoideae | <i>Mimosa schomburgkii Benth.</i> | jurema | exótica | 6 | 0,21 | 95,47 |
| Rosaceae | <i>Prunus brasiliensis (Cham. & Schltdl.) Dietrich</i> | ameixinha amarela | nativa | 6 | 0,21 | 95,68 |
| Bignoniaceae | <i>Tabebuia roseoalba (Ridl.) Sandwith</i> | ipê-branco | nativa | 6 | 0,21 | 95,89 |
| Malvaceae | <i>Bombacopsis glabra (Pasq.) A. Robyns</i> | castanha do maranhão | nativa | 5 | 0,17 | 96,06 |
| Myrtaceae | <i>Eugenia sp.</i> | jambo | nativa | 5 | 0,17 | 96,23 |
| Moraceae | <i>Morus nigra L.</i> | amora | nativa | 5 | 0,17 | 96,40 |
| Bignoniaceae | <i>Tabebuia avellanadae Lorentz ex Griseb. Sinon.</i> | ipê-roxo | nativa | 5 | 0,17 | 96,58 |
| Fabaceae Mimosoideae | <i>Albizia lebeck (L.) Bentham</i> | língua de sogra | exótica | 4 | 0,14 | 96,72 |
| Rubiaceae | <i>Anthocephalus indicus (Roxb.) Miq.</i> | cadama | exótica | 4 | 0,14 | 96,85 |
| Rhamnaceae | <i>Colubrina glandulosa (Perkins)</i> | sobrasil | nativa | 4 | 0,14 | 96,99 |
| Cupressaceae | <i>Cupressus macrocarpa Hartw.</i> | tuia | exótica | 4 | 0,14 | 97,13 |
| Lecythidaceae | <i>Lecythis pisonis Cambess.</i> | sapucaia | nativa | 4 | 0,14 | 97,27 |
| Sapindaceae | <i>Litchi chinensis Sonn.</i> | lichia | exótica | 4 | 0,14 | 97,41 |
| Malvaceae | <i>Pavonia sp.</i> | pavonia | exótica | 4 | 0,14 | 97,54 |
| Sapindaceae | <i>Allophylus sp.</i> | allophilus | nativa | 3 | 0,10 | 97,65 |
| Meliaceae | <i>Melia azedarach L.</i> | cinamomo | exótica | 3 | 0,10 | 97,75 |
| Anacardiaceae | <i>Myracrodruon urundeuva Allemão</i> | aroeira | nativa | 3 | 0,10 | 97,86 |
| Polygonaceae | <i>Triplaris brasiliana Cham.</i> | pau-formiga | nativa | 3 | 0,10 | 97,96 |

Continua...

Continuação da Tabela 1.

| | | | | | | |
|---------------------------|--|------------------|---------|---|------|-------|
| Verbenaceae | <i>Aegiphila sellowiana Cham.</i> | papagaio | nativa | 2 | 0,07 | 98,03 |
| Euphorbiaceae | <i>Alchornea glandulosa Endl. & Poeppig</i> | casca-doce | nativa | 2 | 0,07 | 98,10 |
| Moraceae | <i>Artocarpus heterophyllus Lam.</i> | jaca | exótica | 2 | 0,07 | 98,17 |
| Cecropiaceae | <i>Cecropia hololeuca Miq.</i> | embaúba | nativa | 2 | 0,07 | 98,24 |
| Rutaceae | <i>Citrus limon (L.) Burm.</i> | limoeiro | exótica | 2 | 0,07 | 98,31 |
| Arecaceae | <i>Cocos nucifera L.</i> | coco da bahia | nativa | 2 | 0,07 | 98,37 |
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Erythrina velutina Willd.</i> | suinã | nativa | 2 | 0,07 | 98,44 |
| Rhamnaceae | <i>Hovenia dulcis Thunb.</i> | hovenia | exótica | 2 | 0,07 | 98,51 |
| Sapindaceae | <i>Koelreuteria bipinnata Franch.</i> | coleotéria | exótica | 2 | 0,07 | 98,58 |
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Luetzelburgia auriculata (Allemao) Ducke</i> | gaiçara | exótica | 2 | 0,07 | 98,65 |
| Lauraceae | <i>Persea americana Mill.</i> | abacate | exótica | 2 | 0,07 | 98,72 |
| Apocynaceae | <i>Peschiera sp.</i> | leiterinho | nativa | 2 | 0,07 | 98,79 |
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Platymiscium pubescens (Micheli) var. pubescens</i> | tamboril da mata | nativa | 2 | 0,07 | 98,86 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Senna macranthera (DC. Ex collad.) H.S. Irwin&Barnaby</i> | fedegoso | nativa | 2 | 0,07 | 98,93 |
| Bignoniaceae | <i>Tabebuia aff.umbellata (Mart.)</i> | ipê-amarelo | nativa | 2 | 0,07 | 99,00 |
| Arecaceae | <i>Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd.</i> | macaúba | nativa | 1 | 0,03 | 99,03 |
| Annonaceae | <i>Annona squamosa L.</i> | fruto do conde | exótica | 1 | 0,03 | 99,07 |
| Apocynaceae | <i>Aspidosperma polyneuron Müll.Arg.</i> | peroba rosa | nativa | 1 | 0,03 | 99,10 |
| Sapindaceae | <i>Blighia sapida K. König (syn. Cupania sapida Voigt.)</i> | blighia | exótica | 1 | 0,03 | 99,14 |

Continua...

Continuação da Tabela 1.

| | | | | | | |
|---------------------------|--|-------------------------|---------|---|------|-------|
| Jugandaceae | <i>Carya illinoensis (Wangenh.) K. Koch</i> | pecan | exótica | 1 | 0,03 | 99,17 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Cassia fistula L.</i> | chuva-de-ouro | exótica | 1 | 0,03 | 99,20 |
| Rutaceae | <i>Citrus medica L.</i> | cidra | exótica | 1 | 0,03 | 99,24 |
| Fabaceae Caesalpinioideae | <i>Dimorphandra sp.</i> | falso-barbatimão | nativa | 1 | 0,03 | 99,27 |
| Fabaceae Mimosoideae | <i>Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong.</i> | orelha de negro | nativa | 1 | 0,03 | 99,31 |
| Rutaceae | <i>Esenbeckia leiocarpa Engl.</i> | guarantã | nativa | 1 | 0,03 | 99,34 |
| Myrtaceae | <i>Eugenia involucrata D.C.</i> | cerejeira do rio grande | nativa | 1 | 0,03 | 99,38 |
| Moraceae | <i>Ficus mexiae Standl</i> | mexie de ficus | nativa | 1 | 0,03 | 99,41 |
| Moraceae | <i>Ficus sp.</i> | ficus | nativa | 1 | 0,03 | 99,45 |
| Fabaceae Mimosoideae | <i>Inga sp.</i> | ingá | nativa | 1 | 0,03 | 99,48 |
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Lonchocarpus sp.</i> | timbó | nativa | 1 | 0,03 | 99,52 |
| Malvaceae | <i>Luehea grandiflora Mart. & Zucc</i> | açoita cavalo | nativa | 1 | 0,03 | 99,55 |
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Machaerium nyctitans (Vell.Conc.)Benth.</i> | bico-de-pato | nativa | 1 | 0,03 | 99,59 |
| Meliaceae | <i>Muntingia calabura L.</i> | calabura | exótica | 1 | 0,03 | 99,62 |
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Myrocarpus frondosus Allemão</i> | bálsamo | nativa | 1 | 0,03 | 99,65 |
| Lauraceae | <i>Ocotea sp.</i> | canela | nativa | 1 | 0,03 | 99,69 |
| Areaceae | <i>Phoenix canariensis Chabaud</i> | tamareira das canárias | exótica | 1 | 0,03 | 99,72 |
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Platymiscium floribundum Vog.</i> | sacambu | nativa | 1 | 0,03 | 99,76 |

Continua...

Continuação da Tabela 1.

| | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|------------------|---------|-------------|------------|--------|
| Fabaceae Papilionoideae | <i>Platypodium elegans</i> Vog. | jacarandá-branco | nativa | 1 | 0,03 | 99,79 |
| Rosaceae | <i>Prunus</i> sp. | cerejeira | exótica | 1 | 0,03 | 99,83 |
| Salicaceae | <i>Salix nigra</i> Marsh. | salgueiro | exótica | 1 | 0,03 | 99,86 |
| Euphorbiaceae | <i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong | leiteiro | nativa | 1 | 0,03 | 99,90 |
| Solanaceae | <i>Solanum</i> sp. | solanum | exótica | 1 | 0,03 | 99,93 |
| Meliaceae | <i>Trichilia</i> sp. | trichilia | nativa | 1 | 0,03 | 99,97 |
| Annonaceae | <i>Xilopia</i> sp. | xilopia | nativa | 1 | 0,03 | 100,00 |
| Total | | | | 2893 | 100 | |

FA_i= Frequência Absoluta; FR_i = Frequência Relativa; FR acum._i= Frequência Relativa Acumulada.

Beleza cênica, sombreamento, atratividade para fauna são os principais motivos da utilização destas espécies na arborização. Além disso, no caso da *Michelia champaca*, esta tem uma importância histórica e cultural, pois seus indivíduos são plantados desde a fundação da UFV.

Quando comparado este estudo com o desenvolvido por Eisenlohr et al. (2008) também no *campus*-sede da UFV, percebe-se uma diferença em relação ao número de espécies e famílias encontradas, pois os autores trabalharam, além dos componentes arbóreos, a vegetação herbácea e arbustiva.

Contudo, quando é analisado quais são as espécies mais frequentes observadas, verifica-se grande similaridade. De acordo com os mesmos, as principais espécies encontradas foram o oiti (409 indivíduos), magnólia (310 árvores) e pata de vaca com 185 indivíduos. Observa-se, portanto, que novos plantios foram realizados ao longo deste período, todavia ainda sem planejamento adequado, a fim de promover uma maior heterogeneidade dos componentes arbóreos.

De acordo com Odum (1988), o conceito de diversidade de espécies possui como componentes a riqueza, baseada no número de espécies presentes e a uniformidade, relacionada com a abundância relativa de espécies e no grau de dominância ou falta desta.

Com relação à riqueza de espécies presentes em universidades do país, nota-se que, assim como observado neste estudo, os campi possuem grande variedade florística. Em levantamento realizado por Kurihara et al. (2005) no *campus* da Universidade de Brasília, os mesmos encontraram grande diversidade de espécies e famílias botânicas, 154 e 49, respectivamente. Melo & Severo (2007), analisando a vegetação arbórea do *campus* da Universidade de Passo Fundo encontraram também número elevado de espécies (108).

Segundo Milano & Dalcin (2000) e Paiva & Gonçalves (2002), cada espécie não deve ultrapassar 15% do total de indivíduos arbóreos de uma área, a fim de se obter um melhor planejamento da arborização urbana, minimizar a propagação de doenças e atrair uma fauna mais diversificada.

Desta maneira, percebe-se que o oiti ultrapassou o valor estipulado pelos autores como ideal. Além disso, se observadas as sete espécies arbóreas com maior frequência absoluta, ou seja, com maior número de indivíduos, juntas estas correspondem a 50% do total de espécies levantadas, denotando uma baixa heterogeneidade.

O *campus*-sede da UFV, desta forma, caracteriza-se por possuir grande riqueza de espécies. Entretanto, possui uma baixa heterogeneidade, pois concentra um número elevado de indivíduos em poucas espécies botânicas.

Esta situação é comum nos campi universitários. Almeida Junior (2009) constatou que 76,0% dos indivíduos catalogados na Universidade Federal de Sergipe estão distribuídos entre as dez espécies com maior número de indivíduos. Melo & Severo (2007) observaram que cerca de 70,0% da arborização do *campus* I da Universidade de Passo Fundo é composta por *Eucalyptus sp.* No *campus* Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, *Caesalpinia peltophoroides* (sibipiruna) é a espécie mais abundante, equivalendo a 41,76% do total inventariado (FALEIRO & AMÂNCIO-PEREIRA, 2007).

A baixa heterogeneidade arbórea nos campi das universidades brasileiras mostra a necessidade de um planejamento mais consistente e permanente pela administração, a fim de explorar melhor as características e benefícios ligados a cada espécie e diminuir a propagação de patogenicidades.

3.2. Características fitossanitárias

A fitossanidade dos indivíduos arbóreos é uma característica importante a ser levada em consideração, pois as cidades são ambientes estressantes para as plantas, principalmente devido à poluição atmosférica e à falta de manutenção destas áreas.

Na classificação fitossanitária realizada, observou-se que a maioria dos indivíduos (57,38%), estava sadia (estado ótimo ou bom). Apenas 116 árvores (4,01%) apresentaram doenças ou injúrias severas. O restante, 38,61%, estava em condições fitossanitárias medianas, ou seja, com injúrias leves.

Para os indivíduos em estado fitossanitário ruim, sugere-se que haja sua substituição por outras mais novas e sadias. No caso dos oitis nesta condição, recomenda-se que a troca seja por indivíduos de outras espécies, também encontradas no *campus*, com o intuito de aumentar a diversidade florística local. Já para as magnólias, apesar desta espécie possuir uma alta frequência relativa no *campus*, é interessante que a substituição dos indivíduos injuriados seja feita por árvores de mesma espécie, devido a sua importância cultural para a universidade.

Quanto à origem, notou-se prevalência de espécies nativas (58,26%) em relação às espécies exóticas. O mesmo resultado foi encontrado em trabalhos realizados em outros campi universitários, como apresentado por Almeida Junior (2009) na

Universidade Federal de Sergipe e Kurihara et al. (2005) no *campus* da Universidade de Brasília, contribuindo, assim, para a conservação do patrimônio genético e para o controle de patógenos.

Em função da disposição das árvores no *campus*, identificou-se que a maior parte (10,59%) se encontra próxima da Avenida P.H. Rolfs, mais conhecida como “reta”, marcada pela grande presença de *Licania tomentosa* e *Michelia champaca*.

Chama-se a atenção para o arboreto presente ao lado da reitoria da UFV. Este arboreto foi o local de diversos plantios de árvores de formaturas e comemorativas da universidade, ao longo de sua história. Desta maneira, verificou-se que o mesmo possui a maior “riqueza local” do *campus*, concentrando 33,94% de todas as espécies encontradas.

As 472 palmeiras estão distribuídas por todo o *campus*-sede da UFV. No entanto, pode-se dizer que estão concentradas principalmente na avenida que conduz ao Recanto da Cigarra (133) e também na Vila Gianetti (41).

4. CONCLUSÕES

- Houve uma preferência pelo plantio e manutenção das espécies *Licania tomentosa* (oiti) e *Michelia champaca* (magnólia) no *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa devido às suas características botânicas e importância cultural. O fato das duas espécies juntas representarem 26,0% do total inventariado comprova a necessidade da inclusão de novas espécies, a fim de aumentar a diversidade e reduzir o aparecimento de doenças.
- A arborização do *campus*-sede da UFV caracteriza-se por apresentar grande riqueza de espécies, mas pouca heterogeneidade, pois a maior parte dos indivíduos se concentra em poucas espécies.
- Há uma grande dispersão dos indivíduos arbóreos ao longo do *campus* e a grande maioria destes se encontra em boas condições fitossanitárias. No entanto, é importante que se fortaleça ações de conservação das áreas verdes urbanas para que haja manutenção dos serviços ambientais gerados por estas plantas, como o sequestro de carbono.
- O banco de dados gerado contribuirá para um melhor conhecimento do patrimônio arbóreo do *campus* e para o aprimoramento de estudos botânicos e silviculturais, por meio do inventário contínuo. Além disso, poderá auxiliar no desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos benefícios gerados à população pelas áreas verdes em campi universitários.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA JUNIOR, P. P. **Florística e fitossociologia da vegetação arbórea do campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-Sergipe**. São Cristóvão, SE: Universidade Federal de Sergipe (Monografia de conclusão de curso). 2009. 39p.

APG - Angiosperm Phylogeny Group III. 2009. **An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III**. Bot. J. Linn. Soc.141:399-436.

BRASIL. Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências**. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm>. Acesso em 03 nov. de 2011.

CASTRO, P. S., VALENTE, O. F., COELHO, D. T.; RAMALHO, R. S. **Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG**. Revista *Árvore*. v.7, p.76-89. 1983.

CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. 2 ed. Bronx: New York Botanical Garden. 1988. 555p.

EISENLOHR, P. V., CARVALHO-OKANO, R. M. de, VIEIRA, M. F., LEONE, F. R., STRINGHETA, A. C. O. **Flora fanerogâmica do campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa, MG: Revista *Ceres*, v55, n.4, p. 317-326, 2008.

FALEIRO, W; AMÂNCIO-PEREIRA, F. **Arborização viária do campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, MG**. Revista Científica Eletrônica da Engenharia Florestal. V.6, n.10. 17p. 2007. Disponível em: <www.revista.inf.br/florestal10/pages/artigos/ARTIGO_08.pdf>. Acesso em: 6 set. de 2011.

GHGPROTOCOLBRASIL. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**. 75p. Disponível em:<<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br>>. Acesso em 01 dez. de 2011.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: the physical basis**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 28 nov. de 2011.

KURIHARA, D. L.; IMANÃ-ENCINAS, J.; PAULA, J. L. **Levantamento da arborização do campus da Universidade de Brasília**. Lavras, MG: Revista *Cerne*. v. 11, n. 2, p. 127-136, 2005.

LOMBARDI, J. A; MORAIS, P. O. **Levantamento florístico das plantas empregadas na arborização do campus da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG**. *Lundiana*. v. 4. p. 83 – 88. 2003.

MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. **Avaliação da arborização urbana pelos residentes – Estudo de caso em Mal. Cândido Rondon, Paraná.** Santa Maria, PR: Ciência Florestal. 2001. v.11, n.1, p.189-193.

MELO, E. F. R. Q; SEVERO, B. M. A. **Vegetação arbórea do *campus* da Universidade de Passo Fundo.** Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. v. 2, n. 2, 2007.

MILANO, M. S. **Avaliação quali-quantitativa e manejo da arborização urbana: exemplo de Maringá-PR.** 1988. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR.

MILANO, M. S.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas.** Rio de Janeiro, Editora Light. 2000. 226p.

MOBOT - Missouri Botanical Garden (2011). Plant Science Database– W3 TRÓPICOS. Disponível em: <<http://www.mobot.org>>. Acesso em 29 de ago. 2011.

MOURA, F. A. E; OLIVEIRA, R. T.; MAGALHÃES, L. M.S.; SOBRINHO, J.A. **Mapeamento, identificação botânica e caracterização plástica das árvores do *campus* da UFRRJ/quadra dos alojamentos.** Rio de Janeiro, RJ: Floresta e Ambiente. v.4, p.48-51, 1997.

ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 434p. ,1988.

PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. **Florestas urbanas: planejamento para melhoria da qualidade de vida.** Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2002. 180 p. (Coleção Jardinagem e Paisagismo, 2).

PDFA – Plano de Desenvolvimento Físico e Ambiental do *campus* - UFV - Viçosa. **Resolução nº14/2008.** Anexo. 46p. 2008. Disponível em:<<http://www.ufv.br>>. Acesso em 20 ago. de 2011.

PORTES, R. C.; FERNANDES FILHO, E. I.; FARIA, A. L. L.; BARBOSA, A. W. **Espacialização das restrições ambientais como subsídio ao plano de desenvolvimento físico e ambiental do *campus* da Universidade Federal de Viçosa – Viçosa.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (Anais), 2009.

RIBEIRO, S. C. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária.** 2007. 139f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

UFV – Universidade Federal de Viçosa. **UFV em números (2009).** Disponível em: <<http://www.ufv.br/proplan/ufvnumeros/numeros2009.pdf>>. Acesso em: 10 de fev. 2011.

CAPÍTULO 2

ESTOCAGEM DE CARBONO PELAS ÁRVORES DO *CAMPUS*-SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RESUMO

BRIANÉZI, Daniel, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Estocagem de carbono pelas árvores do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Pedro Boechat Soares.

Objetivou-se com este estudo quantificar o estoque de carbono presente nas árvores do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio de equações alométricas ajustadas para árvores individuais. A partir do inventário arbóreo, separou-se os indivíduos arbóreos em classes de diâmetro, com amplitude de 5 cm entre elas, selecionando ao final, 721 árvores-amostra. Em cada árvore-amostra, o fuste foi cubado rigorosamente em pé, bem como os galhos com até 5 cm de diâmetro. O volume do fuste e dos galhos das árvores foi obtido através da expressão de Smalian. Para as palmeiras, não foram selecionadas árvores-amostra, ou seja, cubou-se em pé 100% dos indivíduos por meio da fórmula de Huber, haja vista as características de suas estipes e a facilidade de medição. Através da tradagem dos indivíduos arbóreos, coletou-se amostras de madeira com casca para cálculo da densidade básica. Em alguns casos, utilizou-se amostras de galhos e de fuste para esta finalidade. Com base em dados de literatura, adotou-se um teor de carbono médio na biomassa seca igual a 48%. Em seguida, foram avaliados os modelos de Schumacher e Hall (1933) e Spurr (1952), modificados, para estimar o carbono das árvores do *campus*. A maior parte dos indivíduos arbóreos (54,8%) possui até 22,5 cm de DAP, haja vista que a maioria das árvores foi plantada há pelo menos 25 anos. Com relação ao volume, as árvores em geral apresentaram um volume médio por indivíduo de $1,37 \pm 2,30 \text{ m}^3$ (com volume variando de $1,3 \cdot 10^{-4}$ a $15,7 \text{ m}^3 \cdot \text{indivíduo}^{-1}$), as palmeiras apresentaram um volume médio bem inferior ($0,76 \pm 2,43 \text{ m}^3 \cdot \text{indivíduo}^{-1}$). Esta diferença se justifica, uma vez que grande parte do volume das árvores se situa nos galhos, 65,11%. A média das densidades encontradas para as árvores (não palmeiras) foi de $0,5844 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, com

amplitude entre 0,2682 e 0,8624 g.cm⁻³; e o coeficiente de variação foi de $\pm 24,81$ %. O modelo de Schumacher e Hall (1933) foi o que apresentou maior precisão para o carbono total e de galhos ($R^2_{\text{ajust.}} = 82,67\%$ e $S_{yx} = \pm 58,88\%$; $R^2_{\text{ajust.}} = 82,89$ e $S_{yx} = \pm 65,95$, respectivamente). O modelo de Schumacher e Hall (1933) também teve melhor ajuste para estimar o carbono total das palmeiras ($R^2_{\text{ajust.}} = 99,08$ e $S_{yx} = 17,66$). De maneira geral, as árvores apresentaram um estoque de carbono por indivíduo de 221,24 Kg, valor superior ao encontrado para as palmeiras (101,50 KgC). Acrescido das estimativas de estocagem de carbono das raízes e copa, chega-se a um estoque total de 816,47 tC num período médio de 25 anos. Com base nos dados de idade de plantio adquiridos, obteve-se um Incremento Médio Anual de Carbono (IMAC) para as árvores do *campus* de 7,79 KgC.indivíduo⁻¹.ano⁻¹. Se consideradas as estimativas de fixação de carbono pelas folhas e raízes, o IMAC obtido é de 9,30 KgC.indivíduo⁻¹.ano⁻¹, valor superior ao encontrado em florestas nativas e plantadas na região. Analisando a área de copa ocupada pelo indivíduos avaliados, obteve-se um estoque total de carbono por área de 54,0 tC.ha⁻¹, considerando idades entre 4,0 e 80 anos, resultado superior ao encontrado em florestas nativas do Cerrado *stricto sensu* e da Caatinga e inferior ao de outras tipologias florestais. Conclui-se que as árvores do *campus* apresentaram, de forma geral, maiores valores de carbono por indivíduo e estocaram menores quantidades de carbono por área quando comparadas com determinadas florestas naturais e plantadas.

ABSTRACT

BRIANÉZI, Daniel, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2012. **Carbon sequestration by urban trees in *campus* of Universidade Federal de Viçosa.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-Adviser: Carlos Pedro Boechat Soares.

This study objectived to quantify the stock of carbon in the trees of the principal *campus* of Universidade Federal de Viçosa (UFV), for allometric equations adjusted for individual trees. From the inventory, the trees were separated in diameter classes, with an amplitude of 5 cm between them, selecting 721 trees-sample. In each tree-sample, the bole was rigorously cubed in foot, as well as the branches with up to 5 cm in diameter. The volume of the trunk and branches of trees was obtained by Smalian expression. To the palms, were not selected trees-sample, cubed 100% of individuals by Huber formula, considering the characteristics of their trunk and ease of measurement. Through the borehole of the individual trees, collected samples of wood with bark for calculation of the density. In some cases, was used samples of twigs and bole for this purpose. Based on literature data, we adopted an average carbon content in dry biomass equal to 48%. Then, were evaluated the models of Schumacher and Hall (1933) and Spurr (1952), modified, to estimate carbon trees on campus. Most arboreal individuals (54.8%) own up to 22.5 cm DBH, considering that most trees was planted at least 25 years. About the volume, the trees generally showed an average volume of 1.37 ± 2.30 m³ per individual (volume ranging from $1.3 * 10^{-4}$ to 15.7 m³.individual⁻¹), the palm trees showed a much lower average volume (0.76 ± 2.43 m³.individual⁻¹). This difference is justified, because most of the volume of trees is located in the branches, about 65.11%. The average densities found for the trees (not palms) was 0.5844 g.cm⁻³, with amplitude between 0.2682 and 0.8624 g.cm⁻³, and coefficient of variation was $\pm 24.81\%$. The model of Schumacher and Hall (1933) showed the highest accuracy for the total carbon and branches ($R^2_{\text{ajust.}\%} = 82.67\%$ and $s_{yx.\%} = \pm 58.88\%$, $R^2_{\text{ajust.}\%} = 82.89\%$ and $s_{yx.\%} = \pm 65.95\%$, respectively). The model of Schumacher and Hall (1933) was also best fit to estimate the total carbon of the palms ($R^2_{\text{ajust.}\%} = 99.08\%$ and $s_{yx.\%} = \pm 17.66$). In general, the trees presented a carbon stock per individual of 221.24 kg, higher than found for the palm trees (101.50 kgC). Added the estimates of carbon storage roots and crown, arrived at a total stock of 816.47 tC in an average period of 25

years. Based on planting data, was obtained a mean annual increment of carbon for the trees on campus of $7.79 \text{ KgC.individual}^{-1}.\text{year}^{-1}$. If considered the estimates of carbon fixation by leaves and roots, the increment obtained was $9.30 \text{ KgC.individual}^{-1}.\text{year}^{-1}$, higher than found in native and planted forests in the region. Looking at the canopy area occupied by the individuals, was obtained a total carbon stock per unit area of 54.0 tC.ha^{-1} , whereas ages between 4.0 and 80 years, higher than that found in native forests of the Cerrado *stricto sensu* and Caatinga and lower than other forest types. Concluded that the trees on campus had, in general, higher values of carbon per individual and stocked up smaller quantities of carbon per area when compared with certain natural and planted forests.

1.INTRODUÇÃO

Em 2007, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) relatou como muito provável (90% de certeza) que as mudanças climáticas que estão ocorrendo no mundo têm a contribuição da ação do homem (IPCC, 2007).

Desta forma, para minimizar os efeitos das mudanças climáticas várias ações têm sido conduzidas no mundo com o intuito de reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Uma destas iniciativas que pode ser interessante nos espaços verdes urbanos é a compensação de carbono.

Neutralização ou compensação de carbono significa retirar da atmosfera gases emitidos por atividades desenvolvidas por organizações que contribuem para o efeito estufa.

A compensação pode ser realizada através da conservação de áreas florestadas e recuperação de uma área com o plantio de árvores, inclusive em espaços urbanos.

As árvores urbanas também podem apresentar uma contribuição significativa na fixação do carbono atmosférico, desde que haja espaço, condições de iluminação adequadas e umidade, além de boas condições de fertilidade para as espécies de rápido crescimento (SAMPSON et al. 1992).

Além disso, é importante que se desenvolva um plano de arborização adequado o qual permita um inventário arbóreo contínuo, que destaque as condições fitossanitárias do povoamento, o volume e a biomassa da floresta e atrele ferramentas importantes de monitoramento (LAERA, 2006).

A medição da biomassa é de grande importância na avaliação de ecossistemas, não somente para conhecimento da estocagem de carbono, mas também para análise da produtividade da floresta, da ciclagem de nutrientes, e da conversão e absorção de energia pelos vegetais (CAMPOS, 1991 e CARBONERA PEREIRA et al., 1997 citados por SOARES et al., 2006).

A biomassa e o carbono de uma floresta são obtidos através de amostragem dos componentes vegetais e do uso de equações alométricas apropriadas para extrapolação para toda a área vegetal. Segundo Crow e Schlaegel (1988) é comum o uso das variáveis Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e a altura total em equações de biomassa, podendo também ser combinadas ($DAP^2 \cdot H$).

Há vários modelos alométricos (lineares, não lineares, simples e múltiplos) para estimar o volume, a biomassa e a quantidade de carbono de espécies arbóreas, sendo

que os modelos de Schumacher e Hall (1933) e Spurr (1952) são os mais utilizados e resultam em estimativas precisas e sem tendências (AMARO, 2010).

Neste sentido, objetivou-se com este estudo quantificar o estoque de carbono presente na arborização do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Além disso, procurou-se gerar equações de estimação de carbono, contribuindo para o conhecimento sobre a capacidade das áreas verdes urbanas no sequestro e estocagem de carbono.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1.Local do estudo

O estudo foi realizado no *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa (UFV), cuja área total é de 1.359 hectares, localizado no município de Viçosa, Minas Gerais (UFV, 2009).

2.2.Inventário arbóreo

A partir dos dados do levantamento arbóreo (Capítulo 1), mensurou-se o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) de todas os fustes das árvores encontrados com DAP igual ou superior a 5 cm. O DAP foi obtido com o auxílio de uma fita métrica e a altura total e do fuste através do hipsômetro Forest Vertex®.

Considerou-se como fuste o prolongamento do tronco desde a base da árvore (nível do solo) até a primeira inserção de galho ainda persistente, pois sabe-se que em arborização urbana as podas são práticas rotineiras.

Como as palmeiras não apresentam ramos secundários, tampouco bifurcações, considerou-se toda a planta como um fuste único até a inserção das primeiras folhas.

Ao todo, foram mensurados 3.673 fustes, sendo 953 palmeiras e 2.720 fustes das demais árvores.

2.3.Seleção de árvores-amostra

Para cada espécie, com exceção das palmeiras, agrupou-se os indivíduos arbóreos em classes de DAP com amplitude de 5 cm entre cada classe, para seleção das árvores-amostra.

Devido ao grande número de espécies encontradas no levantamento arbóreo, foram selecionadas, aleatoriamente, duas árvores-amostra por classe de DAP, para a maioria das espécies. Em classes diamétricas que continham apenas um indivíduo, este foi considerado como árvore-amostra.

No total, foram selecionadas 721 árvores-amostra distribuídas em 101 espécies, as quais procedeu-se a cubagem rigorosa, bem como retirada de amostras de madeira e casca para análises laboratoriais (Tabela 1).

Indivíduos das espécies arbóreas *Dimorphandra sp.*, *Ocotea sp.* e *Solanum sp.*, dentre outros localizados principalmente no estacionamento do Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental foram cortados, devido as novas construções e

reformas realizadas nestes locais, sendo, portanto, excluídos na seleção das árvores-amostra.

Tabela 1 – Número de árvores-amostra, por espécie e por classe de DAP, selecionadas para a cubagem rigorosa em pé e coleta de amostras para análises laboratoriais, em 2011

| Espécie | Centro de classe de DAP (cm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | Total geral | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| | 7,5 | 12,5 | 17,5 | 22,5 | 27,5 | 32,5 | 37,5 | 42,5 | 47,5 | 52,5 | 57,5 | 62,5 | 67,5 | 72,5 | 77,5 | 82,5 | 87,5 | 92,5 | | 97,5 | 102,5 | 107,5 | 112,5 | 117,5 | 127,5 | 137,5 | 157,5 | 167,5 | |
| <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham. | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| <i>Albizia lebbbeck</i> (L.) Bentham | | | | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 6 |
| <i>Alchornea glandulosa</i> Endl. & Poeppig | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| <i>Allophylus</i> sp. | 2 | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 |
| <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan. | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | 26 |
| <i>Annona squamosa</i> L. | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Anthocephalus indicus</i> (Roxb.) Miq. | 2 | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 |
| <i>Araucaria columnaris</i> Hook. | | 2 | 2 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 2 | | 1 | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | 13 |
| <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| <i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg. | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Bauhinia variegata</i> L. | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 19 |
| <i>Blighia sapida</i> K. König (syn. <i>Cupania sapida</i> Voigt.) | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Bombacopsis glabra</i> (Pasq.) A. Robyns | 1 | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 |
| <i>Bougainvillea glabra</i> Choisy | 2 | 2 | 2 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 |

Continua...

No caso das palmeiras, não se adotou árvores-amostra, ou seja, cubou-se em pé 100% dos indivíduos, pois suas medidas foram de fácil obtenção.

A espécie com mais indivíduos foi *Dypsis lutescens* (areca-bambu), representando 52,25% do total. Isto se deve, pois uma só planta de areca-bambu caracteriza-se por apresentar diversos indivíduos, que se agrupam, formando touceiras.

Algumas espécies da família Arecaceae como *Dypsis lutescens* (areca-bambu), *Caryota mitis* (cariota-de-touceira) e *Euterpe oleracea* (açáí) se distinguem por possuírem indivíduos de diâmetro reduzido, independentemente da idade. Já as palmeiras da espécie *Roystonea oleracea* (palmeira imperial) se caracterizam por apresentar diâmetros mais elevados (Tabela 2).

Tabela 2 – Distribuição das espécies de palmeiras por classe de diâmetro, em 2011

| Espécie | Centro de classe de DAP (cm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | Total geral |
|---|------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-------------|
| | 7,5 | 12,5 | 17,5 | 22,5 | 27,5 | 32,5 | 37,5 | 42,5 | 47,5 | 52,5 | 57,5 | 62,5 | 67,5 | 72,5 | 77,5 | 82,5 | 87,5 | 92,5 | |
| <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Archontophoenix cunninghamii</i> H. Wendl. & Drude | | 2 | 3 | 10 | 21 | 7 | 5 | | | 1 | | | | | | | | | 49 |
| <i>Archontophoenix alexandrae</i> (F. Muell.) H. Wendl. Drude & Drude | 1 | 6 | 26 | 136 | 43 | | | | | | | | | | | | | | 212 |
| <i>Caryota mitis</i> Lour. | 5 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | 45 |
| <i>Cocos nucifera</i> L. | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| <i>Dypsis lutescens</i> (H. Wendl.) Beentje & J. Dransf. | 463 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | 498 |
| <i>Euterpe oleracea</i> Mart. | 10 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | 17 |
| <i>Latania chinensis</i> Jacq. | | | 2 | 1 | 8 | 7 | 2 | | | | | | | | | | | | 20 |
| <i>Phoenix canariensis</i> Chabaud | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O. F. Cook | | | 5 | 7 | 1 | 2 | 2 | 7 | 8 | 3 | 5 | 8 | 12 | 20 | 18 | 8 | 1 | 1 | 108 |
| Total geral | 479 | 91 | 36 | 154 | 75 | 16 | 9 | 7 | 9 | 4 | 5 | 8 | 12 | 20 | 18 | 8 | 1 | 1 | 953 |

2.4.Determinação do volume do fuste e dos galhos pelo método não destrutivo

A quantificação do volume das árvores pode ser realizada de forma direta, através da derrubada das árvores e sua posterior cubagem, e de forma indireta ou não destrutiva, na qual se realiza a mensuração dos constituintes da árvore em pé. Foi adotada a cubagem rigorosa da árvore em pé, pois não é permitido realizar o abate das árvores presentes no *campus*, pela representatividade e importância de tais indivíduos perante a sociedade acadêmica e viçosense.

O fuste das árvores-amostra foi dividido em seções de tamanho variável, sendo que cada seção teve seu diâmetro inicial e final medido com o auxílio de fita métrica. Os galhos também foram divididos em seções, as quais tiveram seus diâmetros inferior e superior medidos com um pentaprisma de Wheeler, até um diâmetro-limite de 5 cm.

Os comprimentos das seções do fuste e dos galhos foram obtidos através de uma baliza graduada. Além disso, quando possível, escalou-se os indivíduos arbóreos para facilitar a obtenção das medidas dos galhos mais altos.

O volume com casca de cada seção do fuste e dos galhos das árvores-amostra foi obtido pela expressão de Smalian, dada por:

$$V = \frac{As_1 + As_2}{2} \times L \quad (1)$$

em que:

V = volume com casca da seção, em m³;

As₁ = área seccional no início da seção, em m²;

As₂ = área seccional no final da seção, em m²;

L = comprimento da seção, em metros.

Os volumes com casca do fuste e dos galhos foram obtidos pelo somatório dos volumes das *n* seções amostradas .

Todas as palmeiras presentes no *campus*-sede da UFV também foram cubadas utilizando o pentaprisma de Wheeler. No entanto, considerou-se a estipe como uma única seção e apenas o diâmetro com casca na metade do comprimento da seção foi estimado. Assim, o volume com casca da estipe foi obtido pela expressão de Huber, assim definido:

$$V = A_{s_{1/2}} \times L \quad (2)$$

em que:

V = volume total da estipe, em m³;

A_{s_{1/2}} = área seccional na metade do comprimento da seção, em m²;

L = comprimento da estipe, em metros.

Os frutos, apesar de contribuírem para a incorporação de biomassa e carbono, não foram contabilizados neste estudo, devido a dificuldade de obtenção dos mesmos.

2.5. Determinação da densidade básica da madeira e casca

Para as espécies com mais de um indivíduo foram escolhidas, aleatoriamente, três árvores-amostra em diferentes classes de diâmetro. A amostra de madeira e casca foi coletada no Diâmetro à Altura do Peito (DAP), por meio de um trado que permitiu retirar um cilindro de aproximadamente 0,5 cm e comprimento variado, correspondendo à distância da madeira da casca até o centro do cerne (Figura 1).



Figura 1 – Tradagem das espécies arbóreas do *campus*-sede da UFV.

Devido à dificuldade de obtenção de amostras separadas de casca e madeira de cada árvore, retirou-se uma amostra composta de casca e madeira para análise laboratorial.

As amostras foram condicionadas e identificadas em tubetes de plástico. O orifício da árvore foi tampado com baquetes de madeira e depois borrifou-se “calda bordaleza” (solução fungicida de cal e sulfato de cobre) para evitar entrada de patógenos (Figura 2).



Figura 2 – Armazenamento das amostras em tubetes de plástico.

O cálculo da determinação da densidade básica foi feito em laboratório, segundo a norma NBR 11941 (ABNT, 2003), a partir da equação:

$$Db = \frac{m_3}{(m_2 - m_1)} \quad (3)$$

Em que:

Db = densidade básica da madeira, em g.cm^{-3} ;

m_3 = massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, em g;

m_2 = massa do recipiente com água e amostra imersa, em g;

m_1 = massa do recipiente com água, em g.

Para determinação da densidade, primeiramente foi feita a saturação das amostras em água. As amostras foram deixadas na água até o preenchimento de seus poros e sua completa submersão (cerca de 1 semana). Logo depois, foram imersas em recipientes com água e determinada a massa deslocada, através de uma balança digital (Figura 3).



Figura 3 – Imersão da amostra saturada em água.

Para determinação da massa da amostra seca em estufa (m_3), colocou-se a amostra em uma estufa de circulação forçada de ar a $105 \pm 2^\circ\text{C}$, e depois pesada periodicamente até que o valor da massa se estabilizasse (Figura 4).



Figura 4 – Estufa utilizada para secagem da amostra.

A partir da estimativa da densidade básica de cada indivíduo obtido no laboratório, calculou-se uma média para a espécie.

Devido à dificuldade de tradagem de algumas espécies, em função da impossibilidade de penetração do trado dada a sua alta densidade, optou-se pela retirada de um disco de madeira de aproximadamente 5 cm de espessura na altura do DAP ou na base do galho colhido para determinação da densidade.

Isto foi possível, pois algumas árvores caíram devido às fortes chuvas que atingiram a universidade durante o mês de novembro de 2011. Para as demais, coletou-se um galho de cada indivíduo (Quadro 1).

Quadro 1 – Espécies arbóreas as quais retirou-se uma porção de madeira para análise da densidade básica.

| Espécie | Nome vulgar | Porção colhida |
|--|--------------------|-----------------------|
| <i>Caesalpinia echinata</i> Lam. | Pau-brasil | Fuste |
| <i>Caesalpinia ferrea</i> Mart. ex Tul. var. <i>leiostachya</i> Benth | Pau-ferro | Fuste |
| <i>Caesalpinia pelthoporoides</i> Benth. | Sibipiruna | Galho |
| <i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth. | Jacarandá-da-bahia | Galho |
| <i>Mimosa schomburgkii</i> Benth. | Jurema | Galho |

Continua...

Continuação do Quadro 1.

| | | |
|--|-----------------|-------|
| <i>Murraya paniculata</i> L. (Jack) | Murta-de-cheiro | Fuste |
| <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão | Aroeira | Galho |
| <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) Macbr. | Pau-jacaré | Fuste |

A tradagem das palmeiras também não se mostrou adequado, pois a amostra se apresentava muito quebradiça e desuniforme em função das características anatômicas da estipe. Assim, optou-se pelo método destrutivo, derrubando um indivíduo selecionado por espécie. A derrubada foi possível porque existiam indivíduos que se encontravam em condições fitossanitárias ruins e que necessitavam ser substituídos.

A equipe do Parques e Jardins da Universidade foi responsável pela derrubada dos indivíduos selecionados, em que retirou-se discos de aproximadamente 5 cm de espessura na porção do DAP dos mesmos.

Para a obtenção da densidade básica, dividiu-se cada disco de madeira em 3 cunhas (amostra), partindo do centro até a casca.

Posteriormente, as amostras foram saturadas em água e secas em estufa, conforme descrito anteriormente. Ao final, fez-se uma média entre as estimativas das amostras para obtenção da densidade básica da espécie.

2.6.Determinação da biomassa e carbono

A biomassa presente no fuste e nos galhos de cada árvore-amostra foi obtida pela multiplicação do volume total com casca da árvore-amostra pela densidade básica da espécie correspondente, conforme a equação 4:

$$B_i = d_i * V_i \quad (4)$$

em que:

B_i = biomassa da madeira do fuste e de galhos do indivíduo da i-ésima espécie, em kg;

d_i = densidade básica de madeira e casca da i-ésima espécie, em kg.m^{-3} ;

V_i = volume mensurado com casca do fuste e dos galhos da árvore-amostra, pertencente à i-ésima espécie, em m^3 .

Cabe destacar que para obtenção de resultados mais precisos de biomassa, estimativas de densidade básica de casca e de madeira, bem como seus respectivos volumes deveriam ser obtidos separadamente. Entretanto, devido à dificuldade de coletar tais amostras de forma isolada e o potencial dano causado nos indivíduos, trabalhou-se uma amostra composta de madeira e casca para análise da densidade básica.

De acordo com o trabalho desenvolvido por Amaro (2010), o teor médio de carbono encontrado para os indivíduos de uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, foi de 47,65% na madeira e 47,59% na casca.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2005) recomenda utilizar um teor igual a 50% para conversão de matéria seca em carbono para florestas. Já o Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT (2004) utiliza um fator de 48% para florestas nativas. Assim, adotou-se para este estudo, um teor médio de carbono para madeira e casca de 48% de biomassa seca.

Desta forma, a quantidade de carbono no fuste e galhos de cada indivíduo foi obtido por:

$$C_i = B_i * 0,48 \quad (5)$$

em que:

C_i = carbono do fuste e de galhos do indivíduo da i -ésima espécie, em kg;

B_i = biomassa do fuste e de galhos do indivíduo da i -ésima espécie, em kg;

TC_i = teor de carbono presente na i -ésima espécie.

2.7. Seleção de modelos para estimar o carbono das árvores

De posse das estimativas de carbono obtidas para cada árvore-amostra, bem como das medidas de diâmetro e altura, avaliou-se os seguintes modelos para estimar o carbono total e dos galhos das árvores:

a) Schumacher & Hall (1933)

$$\ln C = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * \ln Ht + \varepsilon_i \quad (6)$$

b) Spurr (1952) modificado

$$\ln C = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP^2 * Ht) + \varepsilon_i \quad (7)$$

em que:

Ln = logaritmo neperiano;

C = carbono, em kg;

DAP = diâmetro à altura do peito, em cm;

Ht = altura total do indivíduo, em m;

β_0 a β_2 = parâmetros do modelo;

ε_i = erro aleatório.

As estimativas dos parâmetros foram obtidos pelo Método de Mínimos Quadrados Ordinários, por meio do software Excel 2007 ®.

Sabe-se que a principal perda de biomassa e carbono nas árvores urbanas se dá pela poda de galhos e ramos. Desta forma, optou-se por testar modelos para estimação de carbono em galhos, a fim de contribuir para o monitoramento de inventários de fixação de carbono na arborização urbana e de emissões de gases de efeito estufa através das podas.

Para a seleção dos melhores modelos de estimação de carbono, adotou-se os seguintes critérios:

- a) Análise das medidas de precisão: coeficiente de determinação ajustado (R^2) e erro padrão da estimativa ($S_{Y.X}$ %);
- b) Análise da significância dos coeficientes das equações pelo teste “t” de Student;
- c) Distribuição gráfica dos resíduos.

O coeficiente de determinação ajustado foi calculado pela seguinte expressão (KVÅLSETH, 1985 apud AMARO, 2010):

$$\bar{R}^2 \% = \left[1 - \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \cdot (1 - R^2) \right] \cdot 100 \quad (8)$$

em que:

n = número de observações;

p = número de variáveis independentes;

R^2 = coeficiente de determinação.

O coeficiente de determinação (R^2) foi obtido por:

$$R^2 = \left[1 - \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \right] \quad (9)$$

O erro-padrão da estimativa ($S_{Y.X}$ %) foi calculado através da seguinte expressão:

$$S_{Y.X} \% = \pm \frac{\sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - p - 1}}}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (10)$$

Os resíduos em porcentagem ($E\%$) foram obtidos por:

$$E\% = \frac{\hat{Y} - Y}{Y} \cdot 100 \quad (11)$$

2.8. Incremento em carbono

O cálculo do Incremento Médio Anual em Carbono (IMAC) das espécies plantadas no *campus*-sede da UFV foi realizado dividindo a quantidade estimada de carbono total de cada indivíduo pela sua idade (Equação 12).

$$\text{IMAC}_{ij} = \frac{Q_{ij}}{I_{ij}} \quad (12)$$

em que

IMAC = incremento médio anual em carbono, em KgC.indivíduo⁻¹.ano⁻¹;

Q = quantidade estimada de carbono do i-ésimo indivíduo da j-ésima espécie, em Kg;

I = idade do i-ésimo indivíduo da j-ésima espécie, em anos.

Para a obtenção da idade dos indivíduos, buscou-se registros de plantio das árvores na Divisão de Parques e Jardins da UFV, cadastros de árvores de formatura e comemorativas e, quando não possível, associou-se a época do plantio com a data de construção de determinadas obras da universidade, pois muitas árvores foram plantadas logo após sua inauguração.

2.9. Estoque de carbono na unidade de área

A estimativa do carbono por área ocupada pelas árvores presentes no *campus* foi obtida delimitando-se a área total dos mesmos, por meio do software ArcGis 9.3® e uma imagem IKONOS ortorretificada do *campus*-sede da UFV de 2007. As árvores isoladas e com difícil distinção, tiveram suas áreas de copas mensuradas com o auxílio de uma trena.

Por fim, somou-se a área dos arboretos e da copa de cada árvore, obtendo a área total ocupada pelas árvores.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.Características gerais

O DAP dos indivíduos arbóreos variou entre 5,0 cm e 167,5 cm, sendo que 54,8% do total das árvores possuem até 22,5 cm (Figura 5). Assim, observou-se uma maior concentração de indivíduos nas menores classes diamétricas, pois houve uma intensificação dos plantios nos últimos anos, motivados pela expansão da universidade que originou novas áreas para arborização, substituição de indivíduos mortos e demasiadamente injuriados e, principalmente, pelo plantio de árvores de formatura e comemorativas, prática comum no *campus* (Figura 6).

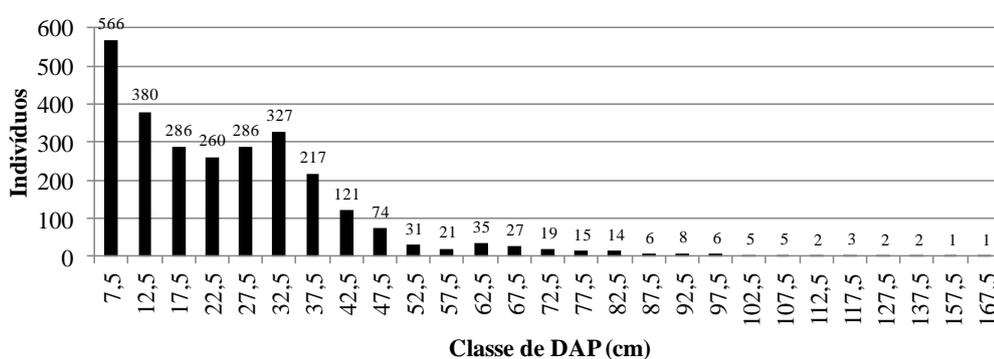


Figura 5 – Distribuição dos indivíduos arbóreos inventariados durante o ano de 2011 no *campus*-sede da UFV, em classes de diâmetro.

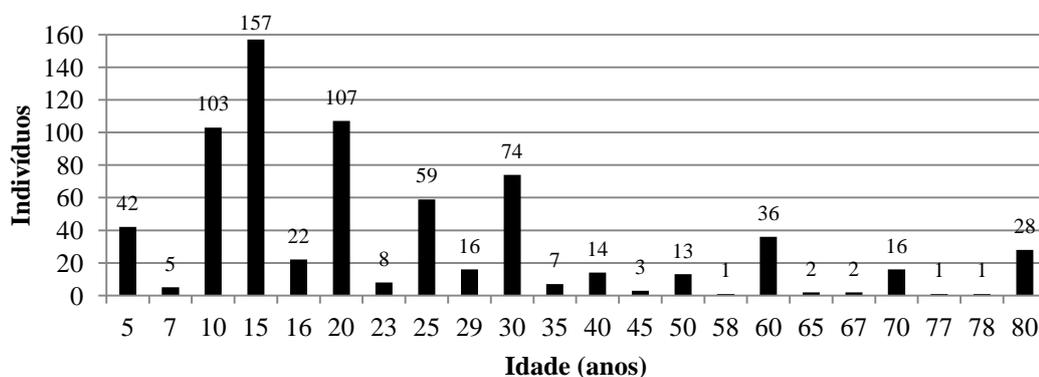


Figura 6 – Distribuição dos indivíduos arbóreos plantados em função da idade na arborização do *campus*-sede da UFV no ano de 2011.

Com relação à altura total, a maior parte dos indivíduos arbóreos possui até 12,5 m de altura, pois a maioria se caracteriza como árvores jovens. A altura total média correspondeu a 9,1 m, com amplitude de 1,7 a 28 m.

Não foi identificado um padrão de distribuição em altura para os indivíduos, fato justificado principalmente pelos diferentes tratos silviculturais os quais a planta de arborização recebe, como podas de condução, de limpeza e, em alguns casos, drástica (Figura 7).

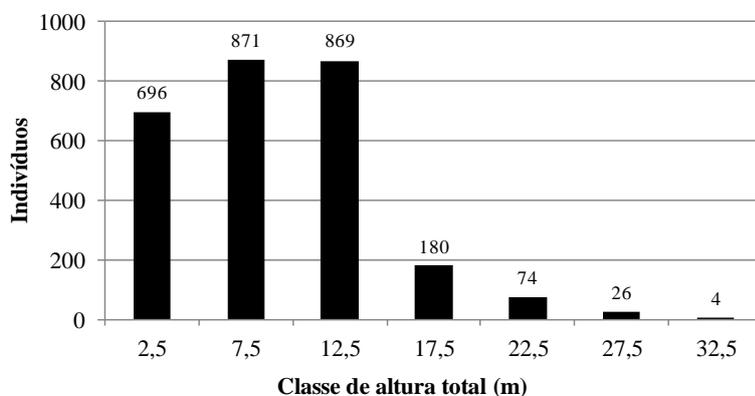


Figura 7 - Distribuição dos indivíduos arbóreos inventariados em 2011, em classes de altura total, no *campus*-sede da UFV.

As palmeiras apresentaram indivíduos com DAP variando de 5,0 cm a 94,8 cm, sendo que 51,0% do total inventariado corresponde a indivíduos na classe de diâmetro de 7,5 cm (Figura 8).

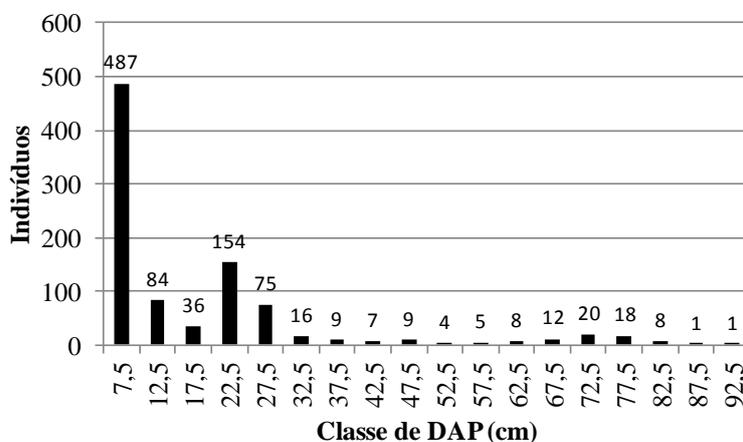


Figura 8 - Distribuição das palmeiras em classes de diâmetro durante o ano de 2011 no *campus*-sede da UFV.

Quando se relaciona a distribuição dos indivíduos de palmeiras por classe de altura total, nota-se que assim como as demais árvores, os mesmos estão concentrados na classe de 7,5 m de altura. As maiores classes de altura total (27,5 m e 32,5 m) são as

que possuem menor quantidade de palmeiras, 26 e 8 indivíduos, respectivamente (Figura 9).

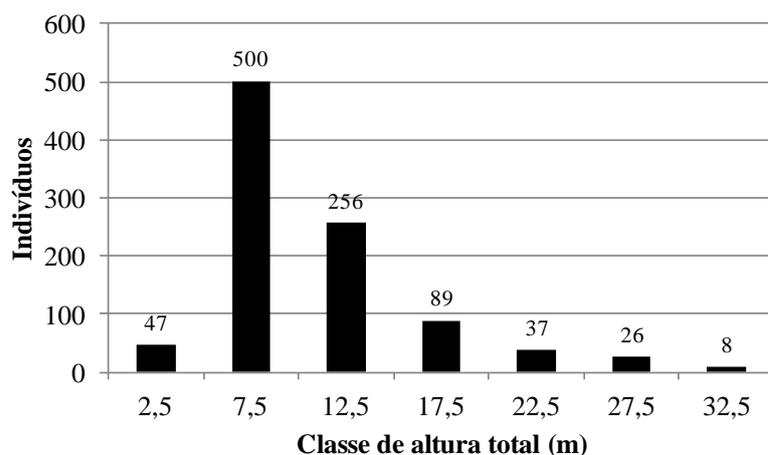


Figura 9 - Distribuição das palmeiras em classes de altura total, em 2011 no *campus-sede* da UFV.

Com relação ao volume observado dos indivíduos arbóreos, contabilizou-se para as palmeiras um total de 736,68 m³. Para as demais árvores, o total foi de 993,46 m³, sendo que 646,86 m³, ou seja, 65,11%, do volume situam-se nos galhos.

A contribuição em volume dos galhos é ainda mais destacada quando se compara o volume médio por indivíduo das árvores em relação as palmeiras. Enquanto as árvores em geral apresentaram um volume médio por indivíduo de $1,37 \pm 2,30$ m³ (com volume variando de $1,3 \cdot 10^{-4}$ a $15,7$ m³.indivíduo⁻¹), as palmeiras apresentaram um volume médio bem inferior ($0,76 \pm 2,43$ m³.indivíduo⁻¹).

Apesar de grande parte dos indivíduos de palmeiras se encontrar na classe de DAP 7,5 cm, o maior volume total observado foi de 185,95 m³, localizado no centro de classe de DAP 77,5 cm. As outras árvores apresentaram maior volume total e de galhos no centro de classe de diâmetro de 42,5 cm (Tabela 3).

Tabela 3 – Volume total e volume de galhos das palmeiras e demais árvores inventariadas em 2011 no *campus*-sede da UFV, por classe de diâmetro

| Classe de DAP (cm) | Palmeiras | Demais árvores | |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | Volume total (m ³) | Volume total (m ³) | Volume galhos (m ³) |
| 7,5 | 12,9478 | 6,2671 | 3,0312 |
| 12,5 | 4,4098 | 15,9533 | 7,4354 |
| 17,5 | 4,9248 | 22,6018 | 11,4633 |
| 22,5 | 55,9916 | 44,5094 | 25,0124 |
| 27,5 | 43,0847 | 37,6290 | 20,9766 |
| 32,5 | 11,3322 | 54,8728 | 35,1170 |
| 37,5 | 8,2898 | 62,9897 | 44,3950 |
| 42,5 | 6,9668 | 70,5727 | 47,4031 |
| 47,5 | 15,3359 | 59,3422 | 39,2034 |
| 52,5 | 9,6478 | 40,4625 | 25,0153 |
| 57,5 | 14,4272 | 39,3447 | 28,9177 |
| 62,5 | 38,6042 | 53,7535 | 35,9955 |
| 67,5 | 60,5705 | 51,5221 | 36,8152 |
| 72,5 | 143,8547 | 41,6466 | 30,2259 |
| 77,5 | 185,9593 | 64,9758 | 34,7353 |
| 82,5 | 100,7283 | 43,6507 | 27,9496 |
| 87,5 | 9,4236 | 19,8715 | 12,5027 |
| 92,5 | 10,1817 | 34,4620 | 24,1408 |
| 97,5 | - | 44,4913 | 30,1927 |
| 102,5 | - | 26,6077 | 15,5863 |
| 107,5 | - | 36,9121 | 23,1640 |
| 112,5 | - | 17,2421 | 10,1955 |

Continua...

Continuação da Tabela 3.

| | | | |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 117,5 | - | 30,8374 | 15,3960 |
| 127,5 | - | 28,2791 | 24,6477 |
| 137,5 | - | 27,1594 | 22,7224 |
| 157,5 | - | 7,2460 | 6,1729 |
| 167,5 | - | 10,2624 | 8,4484 |
| Total | 736,6815 | 993,4662 | 646,8625 |

3.2.Densidade básica da madeira

Devido à riqueza de espécies encontradas, tanto para os indivíduos arbóreos quanto para as palmeiras, a densidade básica da madeira apresentou grande variação. A média das densidades encontradas para as árvores (não palmeiras) foi de $0,5844 \text{ g.cm}^{-3}$, com amplitude entre $0,2682$ e $0,8624 \text{ g.cm}^{-3}$; e coeficiente de variação foi de $\pm 24,8132 \%$.

As palmeiras apresentaram densidade básica média inferior às demais árvores ($0,2577 \text{ g.cm}^{-3}$), tendo uma variação de densidade entre $0,1002 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,4620 \text{ g.cm}^{-3}$ e coeficiente de variação de $\pm 58,2276 \%$ (Quadro 2).

É importante destacar que a densidade básica encontrada é um valor médio correspondente a toda área da estipe (desde a casca até o centro), além disso, verificou-se que a casca é o constituinte do estipe que mais contribui para a densidade básica da palmeira. No caso da palmeira-leque-da-china (*Latania chinensis Jacq.*), por exemplo, a casca apresentou uma densidade 2,3 vezes superior a encontrada na parte interna do tronco.

Quadro 2 – Densidade básica das espécies arbóreas encontradas no *campus-sede* da UFV no ano de 2011.

| Nome científico | Nome vulgar | Densidade básica (g.cm^{-3}) | |
|---|-------------|---|--------------|
| | | Palmeira | Não palmeira |
| <i>Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd.</i> | macaúba | 0,2578* | - |

Continua...

Continuação Quadro 2.

| | | | |
|--|----------------------------|--------|--------|
| <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham. | papagaio | - | 0,3552 |
| <i>Albizia lebbbeck</i> (L.) Benth | língua de sogra | - | 0,6109 |
| <i>Alchornea glandulosa</i> Endl. & Poeppig | casca-doce | - | 0,3711 |
| <i>Allophylus</i> sp. | allophilus | - | 0,5158 |
| <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan. | angico-vermelho | - | 0,8600 |
| <i>Annona squamosa</i> L. | fruto do conde | - | 0,3014 |
| <i>Anthocephalus indicus</i> (Roxb.) Miq. | cadama | - | 0,4843 |
| <i>Araucaria columnaris</i> Hook. | pinheiro de natal | - | 0,5443 |
| <i>Archontophenix cunninghamii</i> H. Wendl. & Drude | seafórtia | 0,3698 | - |
| <i>Archontophoenix alexandrae</i> (F. Muell.) H. Wendl. Drude & Drude | palmeira da rainha | 0,1002 | - |
| <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. | jaca | - | 0,4957 |
| <i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg. | peroba rosa | - | 0,7400 |
| <i>Bauhinia variegata</i> L. | pata de vaca | - | 0,6221 |
| <i>Blighia sapida</i> K. König (syn. <i>Cupania sapida</i> Voigt.) | blighia | - | 0,7432 |
| <i>Bombacopsis glabra</i> (Pasq.) A. Robyns | castanha do maranhão | - | 0,3071 |
| <i>Bougainvillea glabra</i> Choisy | buganville | - | 0,4668 |
| <i>Caesalpinia echinata</i> Lam. | pau-brasil | - | 0,8233 |
| <i>Caesalpinia ferrea</i> Mart. ex Tul. var. <i>leiostachya</i> Benth. | pau-ferro | - | 0,8010 |
| <i>Caesalpinia peltophoroides</i> Benth. | sibipiruna | - | 0,7343 |
| <i>Callistemon viminalis</i> (Sol.ex Gaertn.) G. Don | escova-de-garrafa-pendente | - | 0,5197 |
| <i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze | jequitibá-rosa | - | 0,6400 |
| <i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch | pecan | - | 0,5096 |

Continua...

Continuação Quadro 2.

| | | | |
|--|----------------------------|---------|--------|
| <i>Caryota mitis</i> Lour. | cariota de touceira | 0,1078 | - |
| <i>Cassia fistula</i> L. | chuva de ouro | - | 0,6758 |
| <i>Cassia grandis</i> L. | cassia rosa | - | 0,7270 |
| <i>Cecropia hololeuca</i> Miq. | embaúba | - | 0,2972 |
| <i>Cedrela fissilis</i> Vell. | cedro | - | 0,5137 |
| <i>Ceiba speciosa</i> (A. St.-Hil.) Ravenna | paineira rosa | - | 0,3900 |
| <i>Citrus limon</i> (L.) Burm. | limoeiro | - | 0,5869 |
| <i>Citrus medica</i> L. | cidra | - | 0,5289 |
| <i>Clitoria fairchildiana</i> R. Howard | sombreiro | - | 0,5349 |
| <i>Cocos nucifera</i> L. | coco da bahia | 0,2578* | - |
| <i>Colubrina glandulosa</i> (Perkins) | sobrasil | - | 0,7385 |
| <i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw. | tuia | - | 0,5633 |
| <i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth. | jacarandá da bahia | - | 0,5608 |
| <i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf. | flamboyant | - | 0,4777 |
| <i>Dimorphandra</i> sp. | falso-barbatimão | - | 0,7900 |
| <i>Dombeya wallichii</i> (Lindl.) K. Schum | dombéia | - | 0,5181 |
| <i>Dyopsis lutescens</i> (H. Wendl.) Beentje & J. Dransf. | areca-bambu | 0,4621 | - |
| <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong. | orelha de negro | - | 0,3973 |
| <i>Enterolobium timbouva</i> Mart. | timburí | - | 0,6312 |
| <i>Erythrina falcata</i> Benth. | eritrina | - | 0,2971 |
| <i>Erythrina velutina</i> Willd. | suinã | - | 0,2682 |
| <i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl. | guarantã | - | 0,7628 |
| <i>Eugenia involucrata</i> D.C. | cerejeira do rio grande | - | 0,6868 |
| <i>Eugenia</i> sp. | jambo | - | 0,7603 |
| <i>Eugenia uniflora</i> L. | pitanga | - | 0,7481 |

Continua...

Continuação Quadro 2.

| | | | |
|---|-------------------------|--------|--------|
| <i>Euterpe oleracea</i> Mart. | açaí | 0,3588 | - |
| <i>Ficus benjamina</i> L. | figueira | - | 0,4769 |
| <i>Ficus mexiae</i> Standl | mexie de ficus | - | 0,4640 |
| <i>Ficus</i> sp. | ficus | - | 0,3703 |
| <i>Filicium decipiens</i> (Wight & Arn.) <i>Thwaites</i> | árvore-samambaia | - | 0,7802 |
| <i>Grevillea banksii</i> R. Br. | grevilha | - | 0,4677 |
| <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L. | hibisco | - | 0,7027 |
| <i>Holocalyx balansae</i> Micheli | alecrim de campina | - | 0,8133 |
| <i>Hovenia dulcis</i> Thunb. | hovenia | - | 0,5971 |
| <i>Inga</i> sp. | ingá | - | 0,4971 |
| <i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don | jacarandá mimoso | - | 0,4534 |
| <i>Koelreuteria bipinnata</i> Franch. | coleotéria | - | 0,5444 |
| <i>Lagerstroemia indica</i> L. | resedá | - | 0,5154 |
| <i>Lagerstroemia speciosa</i> L. | regina | - | 0,5403 |
| <i>Latania chinensis</i> Jacq. | palmeira leque da china | 0,1098 | - |
| <i>Lecythis pisonis</i> Cambess. | sapucaia | - | 0,8569 |
| <i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch | oiti | - | 0,7045 |
| <i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton. | alfeneiro | - | 0,5553 |
| <i>Litchi chinensis</i> Sonn. | lichia | - | 0,7246 |
| <i>Lonchocarpus</i> sp. | timbó | - | 0,5490 |
| <i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc | açoita cavalo | - | 0,6400 |
| <i>Luetzelburgia auriculata</i> (Allemao) Ducke | gaiçara | - | 0,7117 |
| <i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.Conc.)Benth. | bico-de-pato | - | 0,6896 |
| <i>Mangifera indica</i> L. | mangueira | - | 0,4409 |
| <i>Markhamia tomentosa</i> (Benth.) K. <i>Schum.</i> | falso-ipê | - | 0,5324 |
| <i>Melia azedarach</i> L. | cinamomo | - | 0,5423 |

Continua...

Continuação Quadro 2.

| | | | |
|--|---------------------------|---------|--------|
| <i>Michelia champaca L.</i> | magnólia | - | 0,5659 |
| <i>Mimosa schomburgkii Benth.</i> | jurema | - | 0,6660 |
| <i>Morus nigra L.</i> | amora | - | 0,5935 |
| <i>Muntingia calabura L.</i> | calabura | - | 0,4242 |
| <i>Murraya paniculata L. (Jack)</i> | murta de cheiro | - | 0,7697 |
| <i>Myracrodruon urundeuva Allemão</i> | aroeira | - | 0,5042 |
| <i>Myrocarpus frondosus Allemão</i> | bálsamo | - | 0,8181 |
| <i>Pavonia sp.</i> | pavonia | - | 0,4495 |
| <i>Peltophorum dubium (Spreng.) Taub.</i> | angico-cangalha | - | 0,7438 |
| <i>Persea americana Mill.</i> | abacate | - | 0,3760 |
| <i>Peschiera sp.</i> | leiterinho | - | 0,4919 |
| <i>Phoenix canariensis Chabaud</i> | tamareira das canárias | 0,2578* | - |
| <i>Piptadenia gonoacantha (Mart.) Macbr.</i> | pau-jacaré | - | 0,6191 |
| <i>Platymiscium floribundum Vog.</i> | sacambu | - | 0,8625 |
| <i>Platymiscium pubescens (Micheli) var.pubescens</i> | tamboril da mata | - | 0,7224 |
| <i>Platypodium elegans Vog.</i> | jacarandá-branco | - | 0,6689 |
| <i>Prunus brasiliensis (Cham. & Schltdl.) Dietrich</i> | ameixinha amarela | - | 0,6302 |
| <i>Prunus sp.</i> | cerejeira | - | 0,5212 |
| <i>Psidium guajava</i> | goiaba | - | 0,7042 |
| <i>Roystonea oleracea (Jacq.) O. F. Cook</i> | palmeira-imperial | 0,2960 | - |
| <i>Salix nigra Marsh.</i> | salgueiro | - | 0,5211 |
| <i>Samanea inopinata (Harms) Barneby & J. W. Grimes</i> | sete cascas | - | 0,5200 |
| <i>Sapium glandulosum (L.) Morong</i> | leiteiro | - | 0,4152 |
| <i>Senna macranthera (DC. Ex collad.) H.S. Irwin & Barnaby</i> | fedegoso | - | 0,5701 |

Continua...

Continuação do Quadro 2.

| | | | |
|--|---------------------|-----------|-----------|
| <i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv. | espatódea | - | 0,3868 |
| <i>Swietenia macrophylla</i> | mogno | - | 0,5281 |
| <i>Tabebuia aff.umbellata</i> (Mart.) | ipê-amarelo | - | 0,7002 |
| <i>Tabebuia avellaneda</i> Lorentz ex Griseb. Sinon. | ipê-roxo | - | 0,6787 |
| <i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Standl. | ipê amarelo-cascudo | - | 0,7234 |
| <i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart ex D.C) Standl | ipê-roxo | - | 0,7442 |
| <i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith | ipê-branco | - | 0,5092 |
| <i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G.Nicholson | ipê-amarelo | - | 0,7054 |
| <i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth | ipê-mirim | - | 0,5930 |
| <i>Terminalia catappa</i> L. | castanheira | - | 0,4684 |
| <i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn | quaresmeira | - | 0,4990 |
| <i>Trichilia</i> sp. | trichilia | - | 0,6700 |
| <i>Triplaris brasiliana</i> Cham. | pau-formiga | - | 0,7750 |
| <i>Xilopia</i> sp. | xilopia | - | 0,4035 |
| Média | | 0,2577 | 0,5844 |
| Desvio-padrão | | ± 0,1501 | ± 0,1450 |
| Coeficiente de variação (%) | | ± 58,2276 | ± 24,8132 |

* Não foi possível obter amostras destas palmeiras para análise, pois não conseguiu-se penetrar o trado na estipe e a derrubada de algum indivíduo não foi permitida. Desta forma, adotou-se para as mesmas a média da densidade das demais espécies de palmeiras.

3.3. Seleção de equações

3.3.1. Árvores (não palmeiras)

Os valores encontrados para os coeficientes de determinação (R^2) e para os erros-padrão de estimativas ($S_{y,x}$ %) das equações ajustadas para estimar o carbono total (CT) e o carbono dos galhos (CG) das árvores presentes no *campus*-sede da UFV

mostraram-se satisfatórios, levando em consideração a grande heterogeneidade dos dados.

Dentre os modelos avaliados para estimar o carbono total em indivíduos pertencentes à arborização do *campus*-sede da UFV, o de Schumacher e Hall (1933) foi o que se ajustou melhor aos dados apresentados (Tabela 4). Além disso, todos os coeficientes foram estatisticamente significativos, considerando $p < 0,05$.

Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações para estimação de carbono total na arborização do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa, MG, 2011

| Modelos | Coeficientes | | | R ² ajust. (%) | S _{y,x} (%) |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|
| | $\widehat{\beta}_0$ | $\widehat{\beta}_1$ | $\widehat{\beta}_2$ | | |
| Schumacher e Hall (1933) | -0,906586 | 1,604213 | 0,3716253 | 82,67 | 58,88 |
| Spurr (1952) modificado | -1,088700 | 0,709474 | - | 81,42 | 60,97 |

O modelo de Schumacher e Hall (1933) também apresentou melhor distribuição dos resíduos em relação ao modelo de Spurr (1952) modificado (Figura 10).

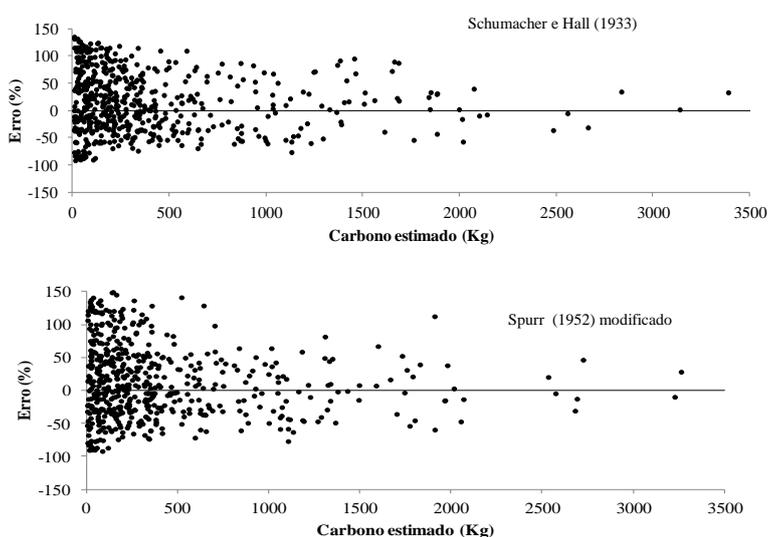


Figura 10 – Distribuição dos resíduos das equações que estimam o carbono total, *campus*-sede da UFV, 2011.

Nota-se que houve uma maior concentração de dados nas menores classes de diâmetro, mostrando que as estimativas geradas por estas equações resultam em erros menores nestas classes, da mesma forma como foi constatado no estudo de Amaro (2010).

Para estimação do carbono nos galhos, o modelo de Schumacher e Hall (1933) também foi o que se ajustou melhor aos dados (Tabela 5). Todos os coeficientes também foram estatisticamente significativos considerando $p < 0,05$.

Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações para estimação de carbono dos galhos na arborização do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa, MG, 2011

| Modelos | Coeficientes | | | R ² ajust.(%) | S _{y.x} (%) |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|
| | $\widehat{\beta}_0$ | $\widehat{\beta}_1$ | $\widehat{\beta}_2$ | | |
| Schumacher e Hall (1933) | -2,052673 | 1,899027 | 0,241563 | 82,89 | 65,95 |
| Spurr (1952) modificado | -2,321309 | 0,792515 | - | 80,55 | 70,31 |

O modelo de Schumacher e Hall (1933) também apresentou melhor distribuição dos resíduos em relação ao modelo de Spurr (1952) modificado (Figura 11).

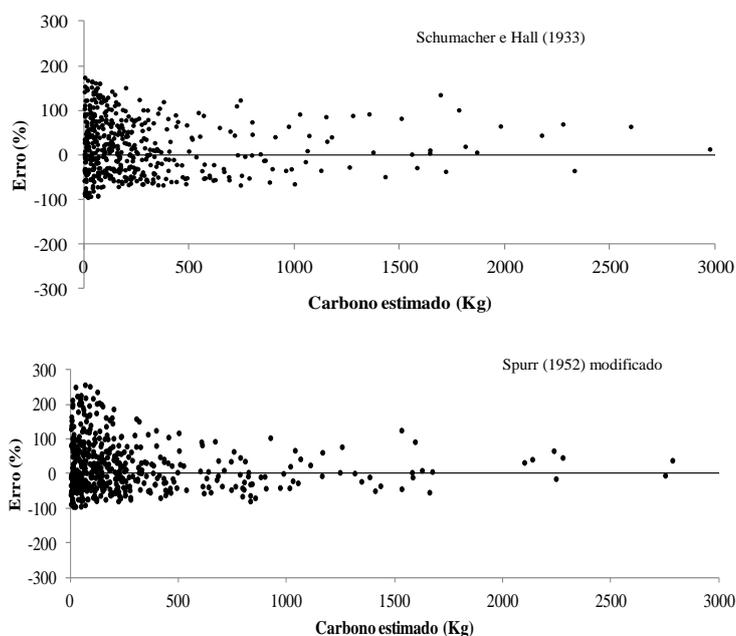


Figura 11 - Distribuição dos resíduos das equações que estimam o carbono dos galhos, *campus-sede* da UFV, 2011.

Amaro (2010), desenvolvendo estudo em uma floresta estacional semidecidual no município de Viçosa, obteve uma equação para estimação de carbono com coeficiente de determinação de 95,34% e erro-padrão de estimativa de $\pm 23,6\%$.

Miranda (2008) gerou equações para estimar carbono do fuste dos indivíduos arbóreos presentes em uma floresta natural no interior do estado de São Paulo, obtendo um valor de R^2 igual a 92,0% e de $S_{y,x}$ igual a $\pm 45,45\%$.

Rezende et. al (2006) encontrou valores de R^2 variando entre 98,12% e 98,64% e $S_{y,x}$ entre $\pm 25,66$ e $\pm 40,69\%$ para modelos de estocagem de carbono em Cerrado *sensu strictu* em Brasília.

Já Scolforo *et al.* (2008), estudando florestas nativas de Minas Gerais, encontraram R^2 igual a 93,76% e $S_{y,x}$ de $\pm 39,88\%$.

A menor precisão encontrada neste trabalho quando comparada a estudos realizados em florestas nativas deve-se a variabilidade encontrada na arborização do *campus-sede* da UFV. O *campus-sede* da UFV possui um grande número de espécies de diferente porte e conformações. Além disso, estes indivíduos recebem diferentes tratamentos silviculturais, como podas que interferem no desenvolvimento do mesmo.

Uma maior intensidade de amostragem, principalmente nos indivíduos de maior porte e frequência, poderia melhorar as estimativas, porém como observado anteriormente, há uma menor frequência de indivíduos nas maiores classes de diâmetro.

3.3.2. Palmeiras

Os modelos de estimação de carbono em palmeiras mostraram-se mais precisos que os modelos gerados para carbono nas demais árvores (Tabela 6). Isto se deve, pela sua maior uniformidade e fuste único. Todos os coeficientes dos modelos foram significativos em nível de 95% de probabilidade, pelo teste “t” de Student.

Quando comparadas as medidas de precisão, observou-se que as equações ajustaram-se bem aos dados observados, contudo, o modelo de Schumacher e Hall (1933) apresentou ligeira superioridade.

Tabela 6 - Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações para estimação de carbono das palmeiras presentes na arborização do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa, MG, 2011

| Modelos | Coeficientes | | | R ² ajust.(%) | S _{y.x} (%) |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|
| | $\widehat{\beta}_0$ | $\widehat{\beta}_1$ | $\widehat{\beta}_2$ | | |
| Schumacher e Hall (1933) | -4,46988 | 1,99082 | 1,06420 | 99,08 | 17,66 |
| Spurr (1952) modificado | -4,42110 | 1,00956 | - | 99,07 | 17,75 |

Os resíduos gerados pelo modelo de Schumacher e Hall (1933) ficaram mais homogeneamente distribuídos e com menor amplitude do que o modelo de Spurr (1952) modificado (Figura 12).

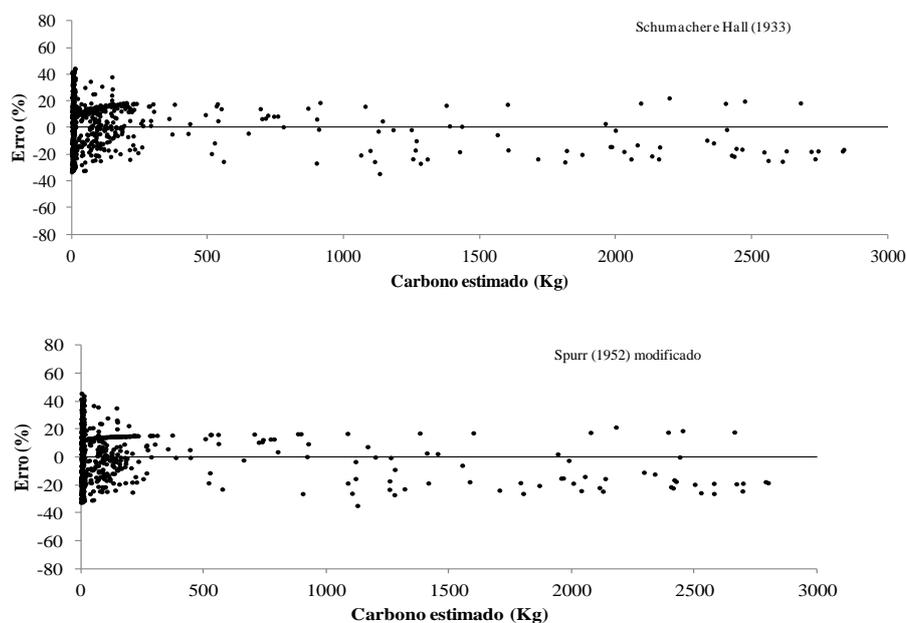


Figura 12 – Distribuição dos resíduos das equações que estimam o carbono em palmeiras, *campus*-sede da UFV, 2011.

3.4. Estoque de carbono

Ao todo, 699,54 toneladas de carbono estão estocadas em 3.683 indivíduos arbóreos (palmeiras e não palmeiras) com idade média de 25 anos, presentes no *campus*-sede da UFV. As palmeiras foram responsáveis por 13,97% do valor encontrado.

O estoque médio de carbono por árvore foi de 221,24 KgC.indivíduo⁻¹. Já para as palmeiras correspondeu a 101,50 KgC.indivíduo⁻¹.

Os galhos são o principal compartimento de estocagem de carbono nas árvores do *campus*, representando 66,41% do total. Isto se justifica, pois é desejável que as árvores utilizadas na arborização urbana tenham uma copa bem definida, de forma a promover maior sombreamento e também melhor enfolhamento e floração, que são características avaliadas importantes.

Outros componentes presentes nas árvores que não foram mensurados neste trabalho, como folhas e raízes, são importantes fontes fixadoras de carbono. De acordo com Flint e Richards (1994) apud Boina (2008), a porcentagem de biomassa de raízes vivas, em relação ao total, é mais elevada em florestas tropicais secas, variando de 15 a 25%. Já em florestas úmidas variam de 5 a 15%. Desta maneira, ao adotar um percentual médio de 15% para as árvores do *campus*, obtêm-se estocado nas raízes 90,27 tC, ou seja, 33,19 KgC.indivíduo⁻¹.

Estudos de fixação de carbono pela folhagem são escassos, principalmente em arborização urbana. Como um dos benefícios das árvores urbanas é a geração de sombra, as copas das mesmas são robustas, apresentando, conseqüentemente, vasta folhagem.

De acordo com os estudos realizados por Drumond (1996) em áreas da Mata Atlântica localizadas no Vale do Rio Doce, a biomassa das folhas representa 4,43% da biomassa do fuste com casca. Deste modo, utilizando este fator, as árvores estocariam na copa cerca de 9,80 KgC.indivíduo⁻¹.

As folhas, frutos e raízes das palmeiras também são importantes sumidouros de biomassa e carbono. Segundo estudo de Gehring et al. (2011), as folhas da palmeira babaçu adulta estocaram, em média, 130,8 Kg.indivíduo⁻¹ de biomassa, cerca de 31,7% do valor de biomassa aérea encontrada. Valor este bem superior ao obtido por Drumond (1996), mostrando que a morfologia e acúmulo de biomassa nas folhas de uma palmeira é diferente ao encontrado nas demais árvores.

Com relação às raízes, sabe-se que as raízes das palmeiras, em geral, são fasciculadas e pouco profundas (cerca de 40 a 80 cm de comprimento). De acordo com Sodré (2005), esta profundidade pode aumentar dependendo da escassez de nutrientes no ambiente. No entanto, sabe-se muito pouco sobre a estocagem de biomassa neste compartimento.

Diante, portanto, da dificuldade de encontrar estudos de biomassa nas folhas e raízes das palmeiras e entendendo a importância destes compartimentos na remoção geral de dióxido de carbono atmosférico, utilizou-se o mesmo percentual médio de estocagem de carbono adotado para as demais árvores. Deste modo, as palmeiras poderiam fixar ainda $19,71 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}$.

Assim, a estocagem de carbono pelas árvores urbanas no *campus* pode ser ainda maior, chegando a 835,45 tC num período médio de 25 anos. Para isto, é importante que haja espaço adequado, boas condições de iluminação e umidade, além de boas condições de fertilidade para as espécies de rápido crescimento (SAMPSON et al. 1992).

Não estimou-se a estocagem de carbono dos frutos, porém é sabido que são importantes contribuidores para a fixação de biomassa e carbono e que, conseqüentemente, poderiam aumentar ainda mais o estoque total de carbono pela arborização do *campus*.

3.5.Incremento de carbono

Baseado nos registros de plantio de árvores coletados na Divisão de Parques e Jardins e também no levantamento de árvores de formatura presentes no *campus*-sede da UFV, obteve-se um Incremento Médio Anual em Carbono (IMAC) de $7,79 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Se consideradas as estimativas de fixação de carbono pelas folhas e raízes, o IMAC obtido é de $9,30 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Se observadas as dez espécies arbóreas com maior IMAC, nota-se que *Lecythis pisonis* (sapucaia) é a que possui valor mais elevado, $27,60 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Estas espécies se caracterizam por possuírem rápido crescimento e densidade básica da madeira, em geral, elevada. Algumas são mais utilizadas na arborização urbana, como *Caesalpinia pelthoporoides* Benth. (sibipiruna), *Cassia grandis* L. (cássia rosa) e *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf. (flamboyant) (Figura 16).

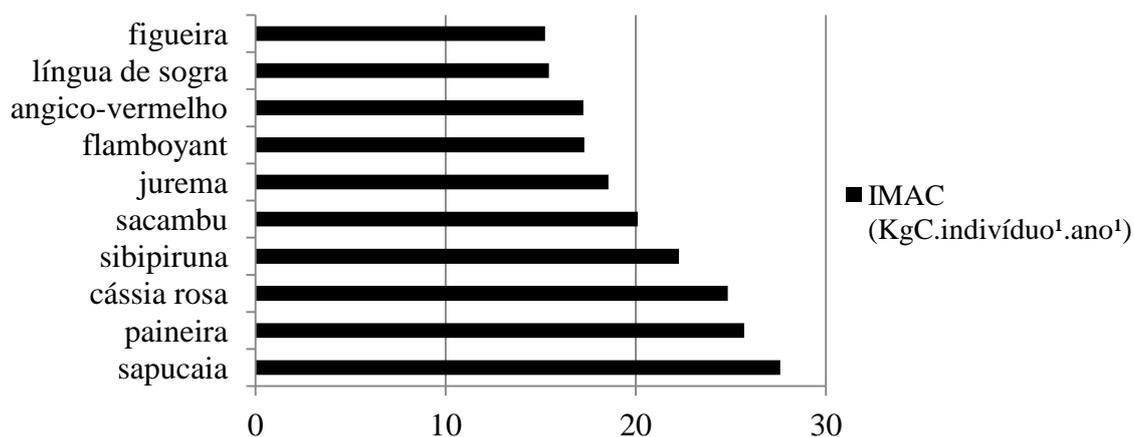


Figura 16 – Dez espécies arbóreas com maior IMAC encontradas no *campus*-sede da UFV, 2011.

Como estas espécies possuem um alto valor de IMAC, fixam uma grande quantidade de CO₂ por unidade de tempo, sendo indicadas para plantio em projetos de neutralização de gases de efeito estufa. Entretanto, por se tratar de árvores utilizadas em centros urbanos deve-se levar em consideração outros fatores importantes para a escolha das espécies, como profundidade das raízes, sombreamento, dentre outros.

Estudos de incremento de carbono em áreas verdes urbanas ainda são escassos. Na capital australiana de Canberra, por exemplo, Brack (2002) estimou que 425 mil árvores da floresta urbana seriam capazes de sequestrar 30,2 x 10³t de CO₂ entre 2008 e 2012, correspondendo a aproximadamente 14,2 KgCO₂.árvore⁻¹.ano⁻¹ ou 3,87 KgC.árvore⁻¹.ano⁻¹.

Se comparado este incremento de carbono por indivíduo com o obtido em florestas naturais, nota-se que o valor encontrado para árvores urbanas é superior.

De acordo com Higuchi et. al (2004), florestas primárias na região do Amazonas, com densidade de aproximadamente 1.500 indivíduos.ha⁻¹, incorporam em sua biomassa cerca de 1,2 tC.ha⁻¹.ano⁻¹. Em estudo com floresta secundária também na Amazônia, Fearnside e Guimarães (1996) obtiveram um incremento de carbono de 2,0 a 10,0 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ em diferentes idades.

Boina (2008) encontrou em seu estudo numa Floresta Estacional Semidecidual em estágio inicial e médio de regeneração na região do alto médio Rio Doce, em Minas Gerais, incremento para a parte aérea e raiz de 1,6 e 4,9 tC.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente. Segundo a autora, a área de estudo que se encontrava em estágio inicial de regeneração apresentou 1.806 indivíduos.ha⁻¹ e a região em estágio médio, 2.193 indivíduos.ha⁻¹.

Ortiz (1997) apud Vélez e Arango (2001) obteve em florestas secundárias da Costa Rica, com cerca de 20 anos, um valor médio de fixação de carbono para biomassa aérea de $3,76 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

Já Amaro (2010), estudando uma Floresta Estacional Semidecidual em estágio avançado localizada na Zona da mata mineira com $1.498 \text{ indivíduos.ha}^{-1}$, em média, obteve um incremento médio para biomassa aérea e raiz de $1,5 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Baseado nos trabalhos citados e no número de indivíduos por hectare médio em florestas naturais maduras, observou-se que em geral, há um incremento na faixa de 0,8 a $2,2 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, menor que o encontrado neste estudo e por Brack (2002).

Sabe-se que florestas plantadas, sejam como espécies nativas e/ou exóticas, apresentam taxas de crescimento mais acelerado em relação às florestas naturais e, conseqüentemente, maiores incrementos de biomassa e carbono. Melo (2004) apud Melo e Durigan (2006), por exemplo, realizando experimentos com plantios de espécies nativas visando à recomposição de áreas de Floresta Estacional Semidecidual no estado de São Paulo obteve, aos 9 anos de idade, $4,5 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, ou seja, $2,6 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Schneider et al. (2005) objetivando estimar o estoque de carbono presente em povoamentos de acácia-negra no Rio Grande do Sul, obtiveram $99,46 \text{ tC.ha}^{-1}$ aos 7 anos no melhor sítio. Como o espaçamento das plantas era de $2 \times 2 \text{ m}$, houve um incremento de $5,7 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Pulitano e Durigan (2003) apud Melo e Durigan (2006) obtiveram em plantios com espécies nativas na região de São Paulo, incremento de $4,5 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ aos 28 anos de idade.

No Espírito Santo, Reis et al. (1994) obtiveram uma taxa de fixação de carbono para plantios de eucalipto de aproximadamente $6,19 \text{ Kg.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Assim, percebe-se que plantios de espécies nativas apresentaram taxas de incremento de carbono similares ao encontrado por Brack (2002) na vegetação urbana de Camberra, mas inferiores ao obtido em povoamentos de espécies exóticas. Além disso, todos os trabalhos apresentados apresentaram taxas de incremento em carbono menores ao obtido neste estudo. Isto se justifica, pois, em geral, as árvores utilizadas na arborização sofrem menos competição entre si por recursos naturais como ocorre nas florestas naturais e plantadas.

3.6. Estoque de carbono por área ocupada pela arborização no *campus*

As árvores presentes no *campus*-sede da UFV ocupam uma área de 15,47 ha. Tendo em vista que o estoque total de carbono obtido, somando-se o carbono de folhas e raízes, foi de 835,45 t, logo, o estoque total médio de carbono por área foi de 54,0 tC.ha⁻¹, considerando idades entre 4,0 e 80 anos.

O estoque de carbono presente na vegetação natural varia de acordo com a fitofisionomia florestal, estágio de sucessão ecológica, com o compartimento avaliado (parte aérea, sub-bosque, raiz e solo) e também de acordo com as condições edafoclimáticas.

Ribeiro (2007) obteve um estoque de 83,34±37,29 tC.ha⁻¹ para uma Floresta Estacional Semidecidual primária localizada na Zona da Mata mineira.

Ao avaliarem o carbono presente em florestas montanas da Mata Atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro, Cunha et al. (2009) estimaram um estoque médio de 67,20 tC.ha⁻¹ correspondente a parte aérea e serapilheira.

Sanquetta et al. (2002) estudando uma Floresta Ombrófila Mista Montana com três estágios diferentes de regeneração, localizada em General Carneiro, encontraram 28,84 tC.ha⁻¹ de carbono acima do solo para o estágio inicial, 70,23 tC.ha⁻¹ para o estágio intermediário e 165,02 tC.ha⁻¹ para o estágio avançado.

Já Felfili (2008), analisando diferentes pontos do Cerrado *stricto sensu* da Chapada Pratinha, obteve estoques de carbono total variando de 14,7 a 34,3t.ha⁻¹, sendo que as raízes foram responsáveis por 75% destes valores.

Em uma Floresta Tropical primária na Amazônia, Silva (2007) analisando indivíduos com DAP≥5 cm, obteve um estoque total de 285,5 tC.ha⁻¹. Já numa Floresta Tropical secundária, com 23 anos de idade, o autor encontrou um estoque de 58,5 tC.ha⁻¹ para a parte aérea e raiz.

Segundo Sampaio et al.(1997) citados por Lopes (2011), o estoque de carbono encontrado para uma área nativa de caatinga no estado de Pernambuco foi de 36,9 t.ha⁻¹. Já em uma área em regeneração com 6 anos de idade, o estoque foi de 14,9 tC.ha⁻¹, um terço do valor obtido na área nativa sem corte raso.

Portanto, nota-se que o estoque de carbono por área obtido para as árvores urbanas foi superior apenas ao de florestas nativas do Cerrado *stricto sensu* e da Caatinga, sendo, deste modo, inferior ao valor encontrado nos estudos de outras tipologias florestais.

No entanto, como já apresentado, as árvores presentes no *campus* da UFV possuem diferentes idades. Desta maneira, se considerado os indivíduos com idades mais avançadas, ou seja, a partir de 40 anos, obtêm-se 84,71 tC.ha⁻¹, estoque equivalente ao encontrado por Ribeiro (2007) numa Floresta Estacional Semidecidual presente em Viçosa, com cerca de 80 anos.

Assim, de uma maneira geral, as árvores urbanas apresentam um estoque de carbono por área inferior ao de uma floresta madura, entretanto, se comparado determinados indivíduos de arborização com árvores de mesma idade em uma floresta, pode-se dizer, neste caso, que o estoque de carbono por área é similar e até mesmo superior ao de uma floresta natural. Isto ocorre, pois apesar da floresta apresentar uma densidade populacional maior que as árvores utilizadas na arborização e possuir diferentes extratos, como o sub-bosque, que contribuem para o aumento do estoque de carbono naquela área, as árvores urbanas fixam mais carbono por indivíduo, já que a competição por recursos naturais é menor.

4.CONCLUSÕES

- A arborização do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa apresentou um total de 699,54 tC estocados em 3.683 indivíduos, distribuídos em uma área de ocupação de 15,47 ha. Deste total, 13,97% corresponde às palmeiras e 86,03% às outras árvores.
- A maior parcela de carbono estocado se localizou nos galhos, que contribuíram com 66,41% do total de carbono encontrado.
- A densidade básica média encontrada para as árvores foi de $0,5552 \text{ g.cm}^{-3}$, com amplitude entre 0,2682 e $0,8624 \text{ g.cm}^{-3}$. Já as palmeiras apresentaram densidade básica média inferior ($0,2577 \text{ g.cm}^{-3}$), variando de $0,1002 \text{ g.cm}^{-3}$ a $0,4620 \text{ g.cm}^{-3}$.
- As equações referentes ao modelo de Schumacher e Hall (1933), foram as que tiveram melhor ajuste aos dados observados de carbono total e de galhos, tanto para as palmeiras quanto para as demais árvores.
- A arborização do *campus*-sede da UFV apresentou um Incremento Médio Anual de Carbono (IMAC) de $54,0 \text{ tC.ha}^{-1}$, considerando idades entre 4,0 e 80 anos. Este valor foi superior ao obtido em florestas nativas do Cerrado *stricto sensu* e da Caatinga e inferior ao valor encontrado nos estudos de outras tipologias florestais.
- A arborização do *campus*-sede da UFV apresentou um Incremento Médio Anual de Carbono (IMAC) de $7,79 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo que a espécie *Lecythis pisonis* (sapucaia) foi a que apresentou maior valor ($27,60 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$). Estes valores foram superiores aos encontrados em florestas naturais e plantadas.
- As estimativas obtidas neste estudo podem ser usadas como referência para o estabelecimento de projetos de neutralização de carbono em ambientes verdes urbanos, como contribuição à mitigação das mudanças climáticas e geração de serviços ambientais à população.

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade básica.** 2003. 6 p.

AMARO, M. A. **Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, MG.** 2010. 168f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais.** 2008. 89 f. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

BRACK, C. L. **Pollution mitigation and carbon sequestration by urban forest.** *Environmental Pollution*, v. 116, p. 195-200, 2002.

CROW, T. R.; SCHLAEGEL, B. E. A guide to using regression equations for estimating tree biomass. **Northern Journal of Applied Forestry**, United States, v. 5, n. 1, 1988.

CUNHA, G. M., GAMA-RODRIGUES, A. C., GAMA-RODRIGUES, E. F., VELLOSO, A. C. X. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da mata atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, 2009, p. 1175-1185.

DRUMOND, M. A. **Alterações fitossociológicas e edáficas decorrentes de modificações da cobertura vegetal na Mata Atlântica, região do Médio Rio Doce, MG.** 73 p. 1996. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.

FEARNSIDE, P. M.; GUIMARÃES, W. M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.80, p.35-46, 1996.

FELFILI, M. C. **Proposição de critérios florísticos, estruturais e de produção para o manejo do cerrado *sensu stricto* do Brasil Central.** 2008. 147 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GEHRING, C.; ZELARAYÁN, M. L. C.; ALMEIDA, R. B.; MORAES, F. H. R. **Allometry of the babassu palm growing on a slash-and-burn agroecosystem of the eastern periphery of Amazonia.** *Acta Amazônica*, v.41, n.1, p.127-134, 2011.

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

IPCC. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). Suíça: OMM, 2005. 628 p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: the physical basis**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 28 nov. de 2011.

LAERA, L. H. N. **Valoração econômica da arborização – A valoração dos serviços ambientais para a eficiência e manutenção do recurso ambiental urbano**. Universidade Federal Fluminense (Dissertação de Mestrado em Ciência Ambiental): Niterói, RJ, 2006, 132 p.

LOPES, A. P. **Estoque e incremento de carbono em florestas nativas do Brasil: Base para elaboração de projetos de compensação de emissões de gases de efeito estufa**. Universidade Federal de Viçosa (Monografia de conclusão do curso de graduação em Engenharia Florestal), 2011, 55p.

MCT. Comunicação nacional inicial do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. Brasília-DF: MCT, 2004. 269 p.

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

MIRANDA, D. L. C. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2008.

REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; VALENTE, O. F.; FERNANDES, H. A. C. **Sequestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo**. In: Seminário emissão x sequestro de CO₂ – Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil (Anais). Rio de Janeiro, 1994, p.155-195.

REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para 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.

RIBEIRO, S. C. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta plantada**. 2007. 128f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SAMPSON, R. N ; MOLL, G. A ; KIELBASO J. **Opportunities to increase urban forests and the potential impacts on carbon storage and conservation**. In: Forests and Global Change Volume One: Opportunities for Increasing Forest Cover (Dwight Hair and R. Neil Sampson, eds.). American Forests, Washington, DC, 1992.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba-PR: UFPR, 2002. 265 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SOBRINHO, V. G.; SCHNEIDER, P. S. P. **Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de**

acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). Ciência Florestal: Santa Maria, RS, v.15, n.4, p.391-402, 2005.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. D. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **J. Agr. Res.**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W. (ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fitofisnomias da flora nativa.** Lavras-MG: UFLA, 2008. 216 p.

SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM).** 2007. 152 f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus. 2007.

SOARES, C. P. B, PAULA NETO, F. DE; SOUZA, A. L DE. **Dendrometria e Inventário Florestal.** Viçosa: Editora UFV, 2006. 276 p.

SODRÉ, J. B. **Morfologia das palmeiras como meio de identificação e uso paisagístico.** 2005, 62p. Monografia (Conclusão do curso de especialista) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

SPURR, S. H. **Forest inventory.** New York: The Ronald Press Company, 1952. 476 p.

UFV – Universidade Federal de Viçosa. **UFV em números (2009).** Disponível em: <<http://www.ufv.br/proplan/ufvnumeros/numeros2009.pdf>>. Acesso em: 01 de dez. 2011.

VÉLEZ, V. H. G., ARANGO, G. J. L. Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono em plantaciones forestales. In: **Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales** (Anais). Valdivia, Chile, 2001, 18p.

CAPÍTULO 3

INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO *CAMPUS*-SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RESUMO

BRIANÉZI, Daniel. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Inventário de gases de efeito estufa no *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Pedro Boechat Soares.

Dentre o conjunto de medidas contempladas pela Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) está a adoção de ações de redução/mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) nacionais, a partir do desenvolvimento dos inventários de GEE. Deste modo, objetivou-se com este estudo quantificar as emissões de GEE das atividades desenvolvidas no *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa. Baseado na ABNT NBR ISO 14.064 (2007) e nas diretrizes do GHG Protocol Brasil, definiu-se os limites organizacionais e operacionais do inventário, seus escopos (Escopo 1 – Emissões diretas, Escopo 2 – Emissões indiretas e Escopo 3 – Outras emissões indiretas) e as fontes emissoras de GEE. Dentro de cada escopo, quantificou-se as emissões de GEE das fontes emissoras, conforme metodologias desenvolvidas pelo *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (2006). Por fim, obteve-se a emissão total do *campus*-sede da UFV. O *campus*-sede da UFV emitiu, durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011), 6.034,18 tCO_{2e}., sendo o Escopo 1 responsável por 61,0% deste valor, com destaque para a pecuária que apresentou uma emissão de 3.071,64 tCO_{2e}.. O manejo dos resíduos sólidos da UFV, que compreende o Escopo 3, foi a segunda maior fonte de emissão de GEE, 999,70 tCO_{2e}., seguido do tratamento anaeróbico dos efluentes (Escopo 2). Conclui-se que a elaboração do inventário de GEE deve se tornar uma prática comum pela UFV, permitindo que a universidade conheça suas emissões e estabeleça estratégias e metas para redução, contribuindo assim, para atenuação do aquecimento global.

ABSTRACT

BRIANÉZI, Daniel. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa. February, 2012. **Inventory of greenhouse gases in the principal *campus* of Universidade Federal de Viçosa.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-Adviser: Carlos Pedro Boechat Soares.

Among all the measures contemplated by National Policy on Climate Change is taking action to reduce / mitigate national emissions of Greenhouse Gases (GHG) from the development of GHG inventories. Thus, the aim of this study was to quantify GHG emissions from activities on principal *campus* of Universidade Federal de Viçosa (UFV). Based on ISO 14064 (2007) and the guidelines of the Brazil GHG Protocol, established the organizational and operational boundaries of the inventory, their scopes (Scope 1 - Direct emissions, Scope 2 - Indirect emissions and Scope 3 - Other indirect emissions) and GHG emission sources. In each scope, was quantified the GHG emissions of all sources, according to methodologies developed by the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006). Finally, was obtained the total emission of the *campus* of UFV. The principal *campus* of the UFV issued during the base-year, 6034.18 tCO_{2e}, the Scope 1 was responsible for 61.0% of this estimate, especially for livestock (3071.64 tCO_{2e}). The solid waste management at UFV, which includes Scope 3, was the second largest source of GHG emissions, with 999.70 tCO_{2e}, followed by anaerobic treatment of effluents (Scope 2), 750.56 tCO_{2e}. Concluded that the preparation of GHG inventory should become a common practice by UFV, allowing the university knows its emissions and established reduction targets and strategies, thus contributing to global warming mitigation.

1.INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um fenômeno natural, formado pela ação do CO₂ e de outros gases, principalmente o vapor d'água, que mantém o planeta aquecido e proporciona a manutenção da vida na Terra.

Entretanto, cientistas têm apontado mudanças no clima do planeta ao longo dos últimos anos e de acordo com os mesmos, tais alterações são causadas pela ação antrópica. O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) relatou como muito possível (90% de certeza), em seu Quarto Relatório, que as mudanças climáticas que estão ocorrendo decorrem principalmente da ação do homem (IPCC, 2007).

Desta maneira, atividades antrópicas, dentre elas a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento têm aumentado a emissão dos denominados Gases de Efeito Estufa (GEE) como o dióxido de carbono, metano e o óxido nitroso, gerando uma intensificação do efeito estufa e consequências negativas ao meio ambiente.

O Brasil, país em desenvolvimento e não-Anexo I ao Protocolo de Quioto, não possui metas de redução de emissões de GEE até 2012. No entanto, na 15^a Conferência das Partes (COP-15) ocorrida no final de 2009 em Copenhague, os países signatários, como o Brasil, se comprometeram a reduzir suas emissões de GEE de forma voluntária.

Para isto, criou-se a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC, Lei 12.187/2009). Em seu artigo 12, relata que há o compromisso nacional de ações de mitigação das emissões de GEE, visando à diminuição de 36,1% a 38,9% das emissões brasileiras projetadas até 2020.

A PNMC aborda a utilização de instrumentos financeiros e econômicos para promover ações de mitigação e adaptação à mudança do clima, como medidas fiscais e tributárias fomentadoras da redução das emissões e da remoção de GEE, incluindo alíquotas diferenciadas, isenções, compensações e incentivos, a serem estabelecidos em lei específica.

Como parte integrante desta política há o compromisso nacional de identificar e quantificar suas emissões e remoções de GEE, e o incentivo à prática de inventários corporativos de emissão e remoção de GEE no país.

O inventário de emissões de GEE é um instrumento que permite que uma instituição conheça o perfil de suas emissões e avalie os impactos de suas ações sobre o meio ambiente.

Além disso, permite às organizações visualizarem oportunidades de novos negócios no mercado de carbono, atrair novos investimentos ou ainda planejar processos que garantam eficiência econômica, energética ou operacional. Trata-se, portanto, de um primeiro passo para a organização beneficiar-se dessas oportunidades e colaborar para a resolução de problemas na direção de uma nova economia de baixo carbono (GHG PROTOCOL BRASIL, 2009).

O *campus*-sede da UFV possui uma diversidade de atividades ligadas às áreas de Agrárias, Biológicas e de Saúde, Exatas e Tecnológicas e de Humanas, Letras e Artes, que direta ou indiretamente geram gases que contribuem para as alterações climáticas.

Assim, torna-se importante que as universidades inventariem as emissões de GEE de suas atividades e as remoções de GEE por seus sumidouros, contribuindo para as metas de redução de GEE nacional e para melhorias ambientais globais.

Objetivou-se com este estudo quantificar as emissões de GEE das atividades desenvolvidas no *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Definição dos limites e período do inventário

De acordo com a ABNT NBR ISO 14.064 (2007a), a organização deve estabelecer limites organizacionais e operacionais para identificação de suas emissões e remoções de GEE.

O limite organizacional refere-se quando a organização possui uma ou mais instalações. A Universidade Federal de Viçosa (UFV) possui três campi: Viçosa (sede), Florestal e Rio Paranaíba. No entanto, como o estudo de quantificação das emissões e remoções de GEE foi realizado apenas no *campus*-sede de Viçosa, adotou-se este como limite organizacional.

Desta forma, considerou-se que a UFV exerce total responsabilidade pelas emissões e remoções de GEE quantificadas no limite físico adotado, aplicando-se a abordagem de controle operacional.

A ABNT NBR ISO 14.064 (2007a) aponta que todas as fontes de emissão/remoção diretas e indiretas dentro do limite organizacional devem ser levantadas e quantificadas. Entretanto, o GHG Protocol deixa a critério da organização a contabilização de suas fontes indiretas.

Como alguns dados são de difícil mensuração como por exemplo, emissões referentes ao deslocamento de veículos de alunos, professores, funcionários e outros pelo *campus*, apenas contabilizaram-se as emissões/remoções em que a UFV *campus*-sede Viçosa possui controle operacional. Também pode-se considerar que estas emissões não são de responsabilidade da Universidade,

A fim de auxiliar na definição do limite operacional definiram-se três escopos, separados em emissões diretas e emissões indiretas, de acordo com GHG Protocol (2011) e a ABNT NBR ISO 14064 – *Greenhouse gases*, são eles:

Escopo 1 – Emissões diretas

São as emissões relativas a fontes que pertencem ou são controladas pela organização, ou seja, emissões originadas dentro dos limites organizacionais definidos.

Escopo 2 – Emissões indiretas

Emissões providas da geração de energia elétrica (rede) e do processo de tratamento de água e esgoto.

Escopo 3 – Outras emissões indiretas

São outras emissões causadas por atividades da organização, porém provindas de fontes não controladas e/ou não pertencentes a esta. Exemplo: veículos de alunos, professores, funcionários e outros que frequentam o *campus*.

Além da definição dos limites organizacionais e operacionais do inventário, deve-se estabelecer um ano-base para referência futura do estudo. Para este trabalho, escolheu-se o período de outubro de 2010 a outubro de 2011.

2.2. Classe de rigor (Tier)

O Tier refere-se ao rigor a que está submetida cada metodologia de cálculo de emissões de GEE adotada. São três níveis: o “Tier 1” refere-se a inventários de emissões de GEE que utilizam exclusivamente fatores de cálculo genéricos adotados no mundo. O “Tier 2” é a classe de rigor usada quando se possui fator de emissão específico nacional que possa contribuir para os cálculos de emissão de GEE. O “Tier 3” é o mais complexo, pois exige informações mais detalhadas para criação de um fator de emissão específico para as atividades da proponente, no caso, a UFV. No presente estudo foram utilizadas as classes de rigor apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Classes de rigor adotadas para cada fonte de emissão de GEE, divididas por escopo.

| Escopo | Fontes de emissão de GEE | | TIER |
|--------|--------------------------|------------------------------------|------|
| 1 | Combustão estacionária | Lenha (biomassa) | 2 |
| | | GLP | 1 |
| | Combustão móvel | Veículos pertencentes à UFV | 2 |
| | Fermentação entérica | Pecuária | 2 |
| | Manejo de dejetos | | 1 |
| 2 | Eletricidade adquirida | Consumo de energia elétrica (rede) | 2 |
| | Efluentes | Geração de efluentes | 1 |
| 3 | Resíduos sólidos | Geração de resíduos sólidos | 2 |

2.3. Fontes de emissão neutras

Biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada como geradora de energia (ANEEL, 2002).

Deste modo, de acordo com IPCC (2006), a sua combustão é considerada como sendo parte do ciclo natural do carbono, partindo do pressuposto que, em determinado período de tempo, o crescimento da planta absorveu, por fotossíntese, a mesma quantidade de CO₂ que foi liberada durante sua combustão, tornando o balanço de dióxido de carbono nulo.

O *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa possui o Refeitório Universitário (RU), alguns alojamentos estudantis e outros locais “alimentados” através do vapor gerado pelas caldeiras de queima de biomassa. Esta biomassa é originada, segundo a própria instituição, de plantios de reflorestamento da região.

Neste sentido, as emissões de CO₂ provenientes da queima da biomassa para geração de vapor e consequente aquecimento para diversas localidades da universidade, serão relatadas neste documento, todavia serão descontadas do montante final de emissões.

Do mesmo modo ocorre com o uso do etanol como combustível veicular, no álcool anidro presente na gasolina e para o biodiesel contido no diesel.

As emissões de demais GEE serão consideradas por quebrar o ciclo biogênico do carbono, aumentando seu potencial de aquecimento.

2.4. Potencial de Aquecimento Global (PAG)

Segundo ABNT NBR ISO 14.064 (2007a), Potencial de Aquecimento Global (PAG) é o fator que descreve a intensidade de irradiação de uma unidade de massa de um GEE, relativa a uma unidade equivalente de dióxido de carbono durante um período de tempo (Quadro 2)

Quadro 2 – Potencial de Aquecimento Global (PAG) dos gases de efeito estufa por período de tempo.

| Gás | Período de vida (anos) | Horizonte de tempo (PAG) | | |
|--|------------------------|--------------------------|-----------|-------------|
| | | 20 anos | 100 anos | 500 anos |
| Dióxido de carbono (CO ₂) | Variável | 1 | 1 | 1 |
| Metano (CH ₄) | 12+-3 | 56 | 21 | 6,5 |
| Óxido nitroso (N ₂ O) | 120 | 280 | 310 | 170 |
| Hidrofluorcarbonetos (HFCs) | 264 | 9100 | 11700 | 9800 |
| Perfluorcarbonetos (PFCs) | 2600~50000 | 4400~6200 | 6500~9200 | 10000~14000 |
| Hexafluoreto de enxofre (SF ₆) | 3200 | 16300 | 23900 | 34900 |

Fonte: Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report, page 22. Citado por UNFCCC, 2011 (Adaptado).

De acordo com a ABNT NBR ISO 14.064 (2007a), para elaboração de inventários corporativos de emissão e remoção de GEE deve-se utilizar como horizonte de tempo uma perspectiva de 100 anos.

Os GEE contemplados neste estudo foram o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Pelo fato de não haver um controle efetivo sobre as atividades geradoras dos outros GEE nem sua quantidade emitida, o HFC, PFC e SF₆ não foram incluídos neste inventário.

2.5. Coleta de dados

Inicialmente, identificou-se as fontes de emissão de GEE localizadas no *campus*-sede da UFV e os GEE gerados por estas, baseando-se na ABNT NBR ISO 14.064 (2007b), nas diretrizes estabelecidas pelo IPCC (2006), e também em informações coletadas em órgãos administrativos e departamentos da universidade.

As coletas de dados foram feitas especificamente em cada departamento durante o período adotado como ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011).

As emissões de GEE oriundas da mudança do uso do solo, bem como das práticas agrícolas realizadas em campos experimentais na UFV não foram considerados neste trabalho, devido à dificuldade de coleta de dados.

2.6. Cálculo das emissões de GEE

2.6.1. Emissões diretas (Escopo 1)

2.6.1.1. Combustão Estacionária

a) Biomassa

Na Divisão de Parques e Jardins da UFV, coletou-se o consumo de biomassa para abastecimento das caldeiras a vapor durante o período de outubro de 2010 a outubro de 2011. Posteriormente, utilizou-se o método Tier-2 ou “bottom-up” com fatores de emissão específicos para o país para cálculo das emissões de CO₂, N₂O e CH₄, conforme equação 1.

$$E = B * FE_i * PAG_i \quad (1)$$

em que:

E = emissão de dióxido de carbono equivalente, em toneladas.

B = quantidade de madeira e resíduos de madeira, em toneladas.

FE_i = Fator de Emissão do GEE_i

PAG_i = Potencial de Aquecimento Global do GEE_i

_i = CO₂, N₂O, CH₄

A partir do conceito de emissões neutras foi descontado do somatório final as emissões de CO₂.

b) Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)

O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) é utilizado no cozimento dos alimentos do Restaurante Alternativo (Multiuso) e também pelos demais restaurantes e lanchonetes localizados no *campus*-sede da UFV.

Apesar dos restaurantes e lanchonetes avaliados serem terceirizados, incorporou-se os mesmos no escopo 1, pois entende-se que as emissões de GEE ocorrem dentro do limite organizacional adotado e o espaço em que se encontram os restaurantes e lanchonetes pertencem a UFV.

Ao todo, levantou-se a quantidade de GLP consumida por dez locais: Restaurante Alternativo, restaurante Geraes, restaurante do Supermercado Escola, lanchonete DCE, lanchonetes do Itaú (2), lanchonete PVB, lanchonete do prédio da Bioquímica, lanchonete do COLUNI e também a cantina da Escola Estadual Effie Rolfs.

A Escola Estadual Effie Rolfs e o Colégio Universitário (COLUNI) estão situados dentro do *campus*-sede da UFV, tendo sido criados para atender, inicialmente, os alunos dos funcionários da universidade. Fazem parte, portanto, do limite organizacional adotado.

Para os cálculos de emissão de CO₂, N₂O e CH₄, em toneladas de dióxido de carbono equivalente, proveniente da combustão do GLP para geração de energia, utilizou-se a equação 2:

$$E = G * FE_i * PAG_i \quad (2)$$

Em que:

E = emissão de dióxido de carbono equivalente, em toneladas.

G = volume de GLP consumido, em m³.

FE_i = Fator de Emissão do GEE_i

PAG_i = Potencial de Aquecimento Global do GEE_i

_i = CO₂, N₂O, CH₄

2.6.1.2. Combustão móvel

A partir do sistema de controle eletrônico da frota de veículos utilizado pela Divisão de Transportes da UFV, contabilizou-se o consumo total de combustível referente ao ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011), dividido por tipo (gasolina, álcool e diesel).

Assim, toda a frota de veículo (atendimento interno e viagens) pertencente e controlada pela Divisão de Transportes da UFV foi contabilizada.

A metodologia utilizada foi o método Tier-2 ou “bottom-up”, pois se utilizou fatores de emissão específicos, levando em consideração as diferenças entre a composição dos combustíveis automotivos utilizados no Brasil. Assim, foi considerada uma proporção de 5% de biodiesel no diesel comum, conforme média anual de 2010 referenciada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol.

Aplicando-se o conceito de emissões neutras foi descontado do somatório final as emissões de CO₂ decorrentes da combustão do biodiesel.

Segundo o relatório do IPCC, o CO₂ é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE de fontes móveis. Os especialistas do IPCC julgam que a incerteza dos cálculos para esse gás é da ordem de 5%, oriunda principalmente da operação, mais do que das imprecisões nos fatores de emissão. Por sua vez, o N₂O e o CH₄ contribuem, com cerca de até 3% e 1%, e as incertezas são de cerca de 50% e 40%, respectivamente, devido principalmente aos fatores de emissão.

As emissões de CO₂ associadas ao uso de combustíveis de biomassa, como, por exemplo, o álcool etílico anidro (presente na gasolina automotiva) e álcool etílico hidratado não foram computadas nos totais de emissão de responsabilidade da UFV, conforme recomendado na metodologia empregada na Comunicação Nacional (MCTI, 2004).

Os cálculos das emissões de GEE pela combustão móvel, em tCO_{2e}, foram feitos conforme equação 3:

$$E = (\sum C_i * FE_i) / 1000 \quad (3)$$

em que:

E = emissão de dióxido de carbono equivalente, em toneladas.

C = consumo do combustível *i*, em litros.

FE = Fator de Emissão do CO₂ associado ao combustível *i*, em kg CO₂/litro.

2.6.1.3. Pecuária

Os Departamentos de Zootecnia e de Medicina Veterinária da UFV são responsáveis pela criação de diversos animais, destinados principalmente a aulas e pesquisas. Estes animais estão alocados por setor: Bovinocultura de corte, de leite, suinocultura, aviário, caprinocultura, dentre outros.

A emissão de GEE pela criação de animais ocorre basicamente de duas maneiras:

- Processo de fermentação entérica, ou seja, pela decomposição do material vegetativo em condições anaeróbicas no aparelho digestivo dos animais, gerando energia, CO₂ e CH₄. A emissão de metano é dependente de algumas variáveis como: quantidade de alimento ingerido, qualidade da dieta e fatores intrínsecos aos animais, como características genéticas e a microflora ruminal (Hammond et al., 2009 citados por Oliveira et al., 2011).

- Manejo dos dejetos gerados, em que há emissão de CH₄ e N₂O, presente na urina e fezes dos animais. A liberação destes gases varia em função da forma em que é disposto o resíduo e as condições a que estão submetidos.

Em condições anaeróbicas como em lagoas e tanques, há maior liberação de metano quando comparado à pastagem. Já a geração de N₂O está ligada às condições hídricas do meio e a disponibilidade de oxigênio (EMBRAPA, 2006).

As emissões de GEE pela disposição dos dejetos produzidos pelos animais poderiam ser apresentadas no tópico “resíduo”. Entretanto, devido a grande representatividade dos mesmos, optou-se por tratá-las separadamente.

As principais categorias de animais levados em consideração para os cálculos foram: os animais ruminantes (gado de corte, gado de leite, ovelhas, cabras e búfalos), animais denominados pseudo-ruminantes (cavalo, mulas, asnos), animais monogástricos (suínos) e as aves.

Desta maneira, consultou-se cada setor envolvido e coletou-se o número de animais existentes durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011), peso médio e o sistema de disposição dos resíduos gerados. Para o gado de corte houve a separação dos mesmos em jovens, machos adultos e fêmeas adultas, conforme recomenda o IPCC (2006). Além disso, checkou-se algumas informações presentes nos relatórios de referência do IPCC e em estudos brasileiros.

Pela dificuldade encontrada para obtenção de dados mais específicos que colaborassem ao melhoramento das estimativas de emissão de GEE, adotou-se para os cálculos de emissão por fermentação entérica e por manejo de dejetos do gado de corte e de leite a abordagem metodológica “Tier 2” e a metodologia “Tier 1” para os demais.

As emissões de CH₄ oriundas da fermentação entérica foram calculadas segundo a equação 4:

$$E_{FECH_4} = FE_t * \left(\frac{Ef_t}{10^3}\right) \quad (4)$$

em que:

E_{FECH_4} = emissão de metano, em toneladas.

Ef_t = número de animais da categoria t.

FE_t = Fator de Emissão do CH₄ associado ao animal de categoria t, em kg CH₄. cabeça⁻¹. ano⁻¹. Para o gado de corte e leite, utilizou-se os valores da Emprapa (2006). Para os demais animais, o valor do *default* do IPCC.

As aves não geram metano em seu processo digestivo. Desta forma, foram excluídas dos cálculos de emissão por fermentação entérica.

O cálculo da emissão de CH₄ do manejo do resíduo de todos os animais foi feito mediante a equação 5:

$$E_{MCH_4} = FE_t * \left(\frac{Ef_t}{10^3}\right) \quad (5)$$

Em que:

E_{MCH_4} = emissão de metano, em toneladas.

Ef_t = número de animais da categoria t.

FE_t = Fator de Emissão do CH₄ associado ao animal de categoria t, em kg CH₄. cabeça⁻¹. ano⁻¹.

Para isto, o Fator de Emissão de metano (FE) para cada categoria de animal foi obtido segundo a equação 6:

$$FE_{CH_4dejetos} = Vs * 365 * [B_{0t} * 0,67 * \left(\sum \frac{MCF_s}{100} * MS_{ts}\right)] \quad (6)$$

em que:

$FE_{ch_4dejetos}$ = fator de emissão de metano pelo manejo dos dejetos do animal de categoria t, em KgCH₄.animal⁻¹.ano⁻¹.

Vs = sólidos voláteis excretados pelo animal de categoria t, em Kg matéria seca.animal⁻¹.dia⁻¹.

365 = conversão dia para ano.

B_{0t} = capacidade máxima de geração de metano por categoria de animal t, em $m^3CH_4.Vs$ excretado⁻¹.

0,67 = densidade do metano, em $Kg.m^{-3}$.

MCF_s = fator de conversão de metano para o sistema de manejo s.

MS = fração da população de animais da categoria t cujo sistema de manejo de dejetos é s, em porcentagem. Adotou-se 100% para todas.

S = sistema de manejo adotado: pastagem ou lagoa anaeróbia.

A emissão direta de N_2O proveniente de dejetos de animais em pastagem foi calculada conforme a equação 7:

$$E_{N_2O} = (\sum Ef_t * N_t * AWMS_t * EF_{pastagem})/10^{-3} \quad (7)$$

em que:

E_{N_2O} = emissão de óxido nitroso, em toneladas.

N_t = quantidade de nitrogênio excretada pelo animal de categoria t, em Kg.

$AWMS_t$ = fração de nitrogênio excretada pelos animais de categoria t que é aplicado nas pastagens. Considerou-se 100%.

$EF_{pastagem}$ = fator de emissão de N_2O para pastagem, em $Kg N_2O.Kg N$ excretado⁻¹

No sistema anaeróbio não há emissão direta de N_2O , pois há baixos teores de oxigênio e com isso, poucos processos de nitrificação e desnitrificação. Assim, não foram calculadas tais emissões para manejo de dejetos dos suínos.

De acordo com o IPCC (2006), as emissões indiretas de N_2O em pastagem são calculadas pelo somatório das emissões de NH_3 e NO_x por deposição atmosférica e pela lixiviação de nitrogênio no solo.

Isto ocorre, pois parte do nitrogênio excretado pelos animais é volatilizada na forma de NH_3 e NO_x e retorna ao solo pela deposição atmosférica, ficando novamente passível de emissão na forma de N_2O (EMPRAPA, 2006). Além disso, parte do N presente no esterco dos animais em pastagens quando utilizado como fertilizante pode ser escoado ou lixiviado aos cursos d'água.

As emissões indiretas de N₂O por deposição atmosférica foram calculadas da mesma maneira para os dejetos dos suínos (equação 8). Já as emissões de N₂O por lixiviação foram calculadas somente para os dejetos dispostos em pastagem (equação 9).

$$E_{N_2O_{gas}} = (N_s * Fr * EF_d) / 10^{-3} \quad (8)$$

em que:

$E_{N_2O_{gas}}$ = emissão de óxido nitroso, em toneladas.

N_s = quantidade de nitrogênio contido nos dejetos para o sistema s, em Kg.

Fr = fração de nitrogênio excretada pelos animais que volatiliza como NH₃ e NO_x, em Kg NH₃ e NO_x .Kg N excretado⁻¹. Considerou-se 0,2 para pastagem e 0,4 para lagoas anaeróbias, conforme IPCC (2006).

EF_d = fator de emissão de N₂O para deposição atmosférica, em Kg N₂O.Kg NH₃ e NO_x emitido⁻¹. Adotou-se 0,01 segundo IPCC (2006).

S = sistema de manejo adotado: pastagem ou lagoa anaeróbia.

$$E_{N_2O_{lixiv.}} = (N_{pastagem} * Fr * EF_l) / 10^{-3} \quad (9)$$

em que:

$E_{N_2O_{lixiv.}}$ = emissão de óxido nitroso, em toneladas.

$N_{pastagem}$ = quantidade de nitrogênio contido nos dejetos na pastagem, em Kg.

Fr = fração de nitrogênio excretada pelos animais que é lixiviado, em Kg N.Kg N excretado⁻¹. Considerou-se 0,3 conforme IPCC (2006).

EF_l = fator de emissão de N₂O para lixiviação, em Kg N₂O.Kg N lixiviado⁻¹. Adotou-se 0,025 segundo IPCC (2006).

2.6.2. Emissões indiretas (Escopo 2)

2.6.2.1. Energia elétrica da rede

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é o sistema responsável pela produção e transmissão de energia elétrica para todo o país, sendo formado por empresas da região Sul, Sudeste, Centro-oeste, Nordeste e parte da região Norte. Somente 3,4% da produção elétrica do Brasil localiza-se fora do SIN (ONS, 2011).

Segundo o relatório do BEN (2009), 70% da energia brasileira é oriunda de hidrelétricas. Entretanto, o país também utiliza combustíveis fósseis para geração de energia elétrica, principalmente de usinas termoelétricas. Assim, o fator de emissão de GEE do SIN leva em consideração as emissões de GEE oriundas das unidades de geração de energia.

A Divisão de Obras e Manutenção é a responsável pela administração e supervisão do consumo elétrico da UFV *campus* Viçosa. Segundo a mesma, a UFV possui três contas de energia elétrica, separadas por local e concessionária de energia:

- UFV *campus* Viçosa (abastecido pela CEMIG).
- Vila Gianetti, UFV *campus* Rio Paranaíba, UFV *campus* Florestal, CENTEV e Museu Artur Bernardes (energia distribuída pela CEMIG).
- ENERGISA (Antiga Companhia Força e Luz Cataguases-Leopoldina) distribuidora de energia para as fazendas de Rio Branco, Cachoeirinha, Araponga e Boa Vista.

Desta maneira, solicitou-se ao responsável do local o consumo elétrico mensal, em MWh, do *campus*-sede da UFV para o ano-base adotado (outubro de 2010 a outubro de 2011). Os fatores de emissão de CO₂ foram obtidos no portal eletrônico do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2011).

Para o cálculo de emissão de dióxido de carbono equivalente, em toneladas, utilizou-se a equação 10 (IPCC, 2006):

$$E = \sum CE_m * FE_m \quad (10)$$

em que:

E = emissão de CO_{2e}, em toneladas.

CE = consumo total de energia elétrica do mês *m*, em MWh.

FE = fator de Emissão do mês *m*, em tCO_{2e}/MWh.

m = mês do ano-base (out/2010 a out/2011).

2.6.2.2. Efluente

A UFV e o município de Viçosa não possuem Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Assim, todo o esgoto gerado é coletado por redes interceptoras e despejado diretamente no curso d'água.

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), responsável pelos serviços de saneamento básico de Viçosa, atende 98% da população com água tratada e 88% com rede de esgoto (SAAE, 2011). Segundo o mesmo, há previsão de construção de uma ETE no bairro Barrinha em 2012.

A degradação anaeróbia transforma a matéria orgânica em CO₂, CH₄, H₂O e biomassa. O CO₂ oriundo de biomassa, por ser uma fonte de emissão neutra, não é contabilizado (CETESB, 2006). Desta forma, o CH₄, principal gás de efeito estufa emitido, está relacionado especialmente ao tratamento anaeróbio do efluente.

A deterioração dos esgotos lançados diretamente em corpos hídricos pode gerar também decomposição anaeróbia e, conseqüentemente, emissão de metano e óxido nitroso. Entretanto, não há ainda uma metodologia adaptada às características brasileiras que leve em consideração este fator.

Assim, apesar do efluente gerado pela universidade ser lançado diretamente nos cursos hídricos, optou-se por considerar que todo o efluente da UFV fosse tratado em uma ETE, ou seja, que houvesse decomposição anaeróbia do mesmo.

A UFV possui uma Estação de Tratamento de Água (ETA) própria que é abastecida pelo Ribeirão São Bartolomeu. Segundo Freitas (2007), a ETA-UFV trata aproximadamente 50 l/s de água num período de operação médio de 8h, sendo empregado o tratamento em ciclo completo: coagulação com sulfato de alumínio granulado, mistura rápida hidráulica em calha Parshall, floculação hidráulica, decantador circular, dois filtros rápidos e desinfecção com cloro-gás.

Assim, para o cálculo de geração de efluentes adotou-se um percentual de 80% do volume total de água (obtido junto à administração da ETA). Valor correspondente ao que é utilizado pelas companhias de abastecimento de água e esgoto no país.

Os parâmetros físico-químicos do efluente foram baseados no estudo de Aquino & Souza (1996) desenvolvido na UFV.

O cálculo de emissão de CH₄ foi feito segundo as equações 11 e 12:

$$M = DBO * V \quad (11)$$

$$E = (M * FE - R)/1000 \quad (12)$$

em que:

E = emissão de CH₄, em Kg.

M = quantidade de matéria presente no efluente, em Kg DBO.

FE = fator de emissão, em Kg CH₄/Kg DBO, 0,25 (IPCC, 2006).

V = volume do efluente tratado, em litros.

R = total de redução do “flare”, quando aplicável.

Já a emissão de N₂O da degradação da ureia, nitrato e proteína foi calculada pela equação 13:

$$E = N * FE * 44/28 \quad (13)$$

em que:

E = emissão de N₂O, em toneladas.

N = quantidade de nitrogênio (N₂) presente no efluente, em toneladas.

FE = fator de emissão, em t N₂O/t N₂, 0,005 (IPCC, 2006).

44/28 = fator de conversão do N₂ para N₂O.

Ao final, multiplicou-se o total de emissão de cada gás pelo seu respectivo Potencial de Aquecimento Global.

As emissões de CO₂ neste processo não foram contabilizadas por se tratar de compostos orgânicos de origem biogênica.

2.6.3. Outras emissões indiretas (Escopo 3)

2.6.3.1. Resíduos sólidos

A UFV gera diariamente uma grande variedade de resíduos sólidos de origem doméstica, comercial e especial.

A maior parte dos resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos do *campus*-sede da UFV é coletada pela Divisão de Parques e Jardins que leva os resíduos até o aterro sanitário municipal. Para a obtenção da quantidade deste resíduo coletado, fez-se uma pesagem semanal, em dias alternados, durante 3 meses.

Os resíduos provenientes da jardinagem também são coletados pela Divisão de Parques e Jardins, em veículo específico. Foi realizada também uma pesagem semanal, em dias alternados, durante 3 meses.

O Restaurante Universitário (RU) e o Restaurante Alternativo geram resíduos orgânicos que são destinados à suinocultura de produtores rurais. Para a obtenção do montante de resíduo gerado, fez-se pesagens diárias no RU durante 3 meses, tanto para o almoço quanto para o jantar e café. Os dejetos orgânicos oriundos do Restaurante Alternativo foram obtidos a partir das informações fornecidas pela administração do restaurante.

Os resíduos orgânicos dos demais restaurantes da UFV são coletados juntamente com os outros resíduos inorgânicos pelo caminhão da Divisão de Parques e Jardins. Desta forma, entram na contabilização geral dos resíduos coletados no *campus*.

Os restos alimentares provenientes do RU e do Restaurante Alternativo como são coletados por produtores rurais para alimentação de animais e não vão para o aterro sanitário, não geram emissões de gases de efeito estufa pela decomposição anaeróbia.

A principal emissão de GEE ocorre na disposição dos dejetos destes animais. Entretanto, estas emissões estão fora do limite organizacional adotado e não se tem um controle das condições em que os dejetos gerados ficam submetidos. Assim, para não desprezar a considerável quantidade de resíduos gerados pelas restaurantes e suas emissões de GEE, adotou-se que estes resíduos alimentares foram dispostos no aterro sanitário.

Parte dos resíduos inorgânicos é destinada à reciclagem. Este material é coletado por veículo próprio e conduzido, atualmente, para a Associação de Trabalhadores da Usina de Triagem e Reciclagem de Viçosa (ACAMARE). A quantidade de resíduos recicláveis foi conseguida a partir das informações concedidas pelo Projeto Reciclar.

Todos os materiais cuja destinação final é a reciclagem consiste em emissões evitadas de GEE, por não haver degradação do material. As emissões de GEE resultantes do processo de reciclagem são de autoria do organismo reciclador que adquiriu o material descartado como seu insumo. Estas emissões evitadas poderiam ser relatadas neste escopo, porém não há controle da operação de reciclagem fora do *campus-sede*, limite organizacional adotado.

As quantidades de CO₂ e CH₄ emitidas variam em função do volume de lixo produzido, do percentual e características da matéria orgânica que o compõe e das condições de anaerobiose de sua decomposição.

Conforme recomendações do Guia de Inventários de GEE do IPCC (IPCC 2006), não são consideradas as emissões de CO₂ por biogênese, isto é, materiais cuja origem é de biomassa e se caracterizam por provirem de uma fonte renovável de carbono. Como exemplo, podemos citar as emissões de CO₂ provenientes de alimentos, papéis e têxteis. Portanto, todas as emissões dessa atividade são resultantes da degradação de compostos biogênicos gerando metano (CH₄) pela decomposição anaeróbia.

A quantificação da emissão de GEE pela disposição dos resíduos sólidos oriundos do *campus* da UFV foi feita seguindo a abordagem metodológica “Tier 2”, que utiliza valores específicos juntamente com outros valores de *default* do IPCC.

Para os cálculos das emissões de GEE gerados pelos resíduos do *campus*-sede da UFV, levou-se em consideração sua destinação. Assim, os cálculos de emissão de CH₄ pela decomposição anaeróbia em aterro sanitário, foram feitos de acordo com a equação 14:

$$EM = \sum(RSU * FCM * COD * COD_r * FEM * \frac{16}{12} - R) * (1 - OX) \quad (14)$$

em que:

EM = emissão de metano, em toneladas.

FCM = Fator de Correção de Metano. O valor sugerido pelo IPCC é de 60%.

COD = Carbono Organicamente Degradável.

COD_r = fração do carbono que realmente se degrada. O valor sugerido pelo IPCC é de 77%.

FEM = fração de carbono emitida como metano. O valor sugerido pelo IPCC é de 50%.

16/12 = taxa de conversão, em peso molecular, de C para CH₄.

R = metano recuperado. Considerou-se igual a zero, pois não há recuperação de metano no aterro municipal.

O cálculo do Carbono Orgânico Degradável (COD) presente nos resíduos sólidos, ou seja, a fração de carbono orgânico presente no material que realmente se degrada, na forma de CO₂ e CH₄, foi feito baseado em estudo de composição gravimétrica dos resíduos sólidos realizado no *campus*-sede da UFV e também no teor

de carbono presente nas categorias de materiais avaliados pelo IPCC (2006): orgânicos; papel, papelão e tecidos; madeira e palha; e resíduos de jardim.

Os demais resíduos são basicamente inertes como os plásticos e os metais, não possuindo COD em sua composição.

Por fim, converteu-se as emissões de metano em tCO_{2e}, multiplicando o valor encontrado por seu Potencial de Aquecimento Global (PAG).

Os resíduos gerados pelo hospital da UFV e pelo hospital veterinário que são destinados à incineração possuem um valor inexpressivo de COD e, desta maneira, apresentam baixa ou nula emissão de GEE. Da mesma maneira ocorre com as sobras oriundas de construções.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Emissão direta (Escopo 1)

3.1.1. Combustão Estacionária

a) Biomassa

A UFV possui três caldeiras a vapor que geram água quente e calor para determinados pontos do *campus*, como o laticínio FUNARBE, Restaurante Universitário (RU) e para alguns alojamentos. De acordo com a Divisão de Parques e Jardins da UFV, responsável pela aquisição e uso de biomassa pelas caldeiras, a Universidade consumiu no período do ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011), 15.000 Kg de lenha oriunda de plantios de Eucalipto da região.

Ao todo, 26,6 tCO_{2e} foram liberadas pela combustão de madeira pelas caldeiras. No entanto, apenas 0,4 tCO_{2e} foram contabilizadas na emissão final, pois, por se tratar de uma fonte renovável (biomassa), considera-se que a emissão de CO₂ é neutra. Assim, somente as emissões de N₂O e o CH₄ foram acrescentadas ao somatório total (Tabela 1).

Tabela 1 – Emissão de CO₂, CH₄ e N₂O pela combustão de biomassa das caldeiras da UFV durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011), em toneladas

| | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | Total |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|--------|
| Emissão (t) | 26,2 | 0,007 | 0,9*10 ⁻³ | |
| Total (tCO_{2e}.) | 26,2* | 0,147 | 0,279 | 26,626 |

* Não foi computado no somatório final.

Em 2011, a UFV adquiriu três reservatórios para Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) em substituição ao uso das caldeiras, mas ainda não estão em uso. Entendendo que o GLP é uma fonte energética de origem fóssil, a emissão de GEE da UFV aumentará consideravelmente.

b) Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)

Com base nos dados de consumo de GLP obtidos junto aos restaurantes e lanchonetes do *campus*-sede da UFV, obteve-se um total de 29,13 m³ de GLP, sendo que o Restaurante Alternativo é responsável por 34,19% do somatório encontrado. Isto se justifica pela quantidade de refeições servidas diariamente pelo restaurante, cerca de 2.500.

A emissão de GEE oriunda da queima do GLP é proporcional ao consumo. Assim, os restaurantes que tiveram maior uso de GLP também geraram maior quantidade de GEE. Juntos, os três restaurantes foram responsáveis pela emissão de 74,83% do CO₂ produzido (Tabela 2).

Tabela 2 – Consumo de GLP e emissão de CO₂, CH₄, N₂O e CO_{2e}. pelos restaurantes e lanchonetes presentes no *campus*-sede da UFV durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011)

| Local | Consumo de GLP (m ³) | Toneladas | | | |
|-------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | CO _{2e} . |
| Restaurante Alternativo | 9,96 | 16,052 | 0,254*10 ⁻³ | 0,025*10 ⁻³ | 16,065 |
| Restaurante Sup. Escola | 5,355 | 8,631 | 0,137*10 ⁻³ | 0,014*10 ⁻³ | 8,638 |
| Restaurante Geraes | 6,480 | 10,448 | 0,165*10 ⁻³ | 0,016*10 ⁻³ | 10,456 |
| Lanch. DCE/Itaú • | 1,728 | 2,785 | 0,044*10 ⁻³ | 0,004*10 ⁻³ | 2,787 |
| Lanch. COLUNI | 1,512 | 2,436 | 0,039*10 ⁻³ | 0,004*10 ⁻³ | 2,438 |
| Lanch. Itaú/BQI • | 0,189 | 0,304 | 0,005*10 ⁻³ | 0,0 | 0,304 |
| Lanch. PVB | 2,394 | 3,858 | 0,061*10 ⁻³ | 0,006*10 ⁻³ | 3,861 |
| Cantina E.Rolfs | 1,512 | 2,436 | 0,039*10 ⁻³ | 0,004*10 ⁻³ | 2,438 |
| Total | 29,130 | 46,950 | 0,0 | 0,0 | 46,950 |

- A lanchonete pertence ao mesmo proprietário. Assim, foram computadas juntas.

3.1.2. Combustão móvel

A frota de veículos pertencente à UFV é bastante numerosa, contendo cerca de 150 veículos que servem para atendimento interno, como viaturas, ambulâncias e tratores, e para viagem como carros, vans e ônibus.

O percurso destes veículos é diverso, justificando o alto consumo de combustíveis (303.479 litros) durante o ano-base adotado (outubro de 2010 a outubro de 2011). A maior parte do transporte utiliza gasolina (53%), seguido de diesel (42%). Poucos carros são abastecidos com álcool, possivelmente devido ao rendimento e também pelo preço flutuante do etanol no mercado (Figura 1).

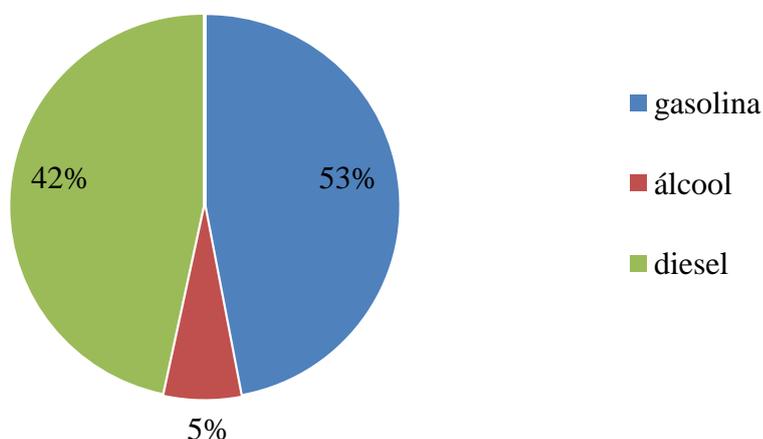


Figura 1 – Consumo total de combustível pela frota de veículos do *campus*-sede da UFV, por tipo e em porcentagem durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011).

Atualmente, 25% da gasolina comercializada no país possui álcool etílico anidro em sua constituição. Esta é uma ação do governo que tem o intuito de aumentar a octanagem da gasolina em virtude do poder calorífico do álcool etílico. Além disso, promove uma redução de emissões de poluentes. Assim, apesar do consumo bruto de gasolina ter sido de 163.642 litros, o uso líquido do combustível, desconsiderando o álcool, conforme justificado anteriormente, foi de 124.777 litros, gerando a emissão de 290,40 tCO_{2e}.

Da mesma forma ocorre com o diesel, que descontado os 5% de biodiesel presente no combustível, o seu consumo líquido corresponde a 107.434 litros e gera uma emissão de 288,07 tCO_{2e}. (Tabela 3).

Tabela 3 – Emissão de dióxido de carbono equivalente pela frota de veículos do *campus*-sede da UFV, por tipo de combustível, durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011)

| Tipo de combustível | Consumo (em litros) | Total (tCO_{2e})** |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Gasolina | 163.642 | 290,40 |
| Diesel | 113.088 | 288,07 |
| Álcool | 26.749 | 39,29* |
| TOTAL | 303.479 | 578,47 |

* Não foi computado no somatório final.

** Já descontados os valores de biodiesel presente no diesel (5%) e do etanol na gasolina (25%).

Somando-se o consumo de álcool etílico hidratado, o álcool etílico anidro presente na gasolina e o biodiesel, as emissões oriundas de biomassa foram de 110,50 tCO_{2e}. No entanto, como já apresentado anteriormente, a combustão de biomassa é considerada, segundo o *IPCC* e o *GHG Protocol*, como sendo parte do ciclo natural do carbono, partindo do princípio de que, em determinado período de tempo, o crescimento da planta absorveu, por fotossíntese, a mesma quantidade de CO₂ que foi liberada durante sua combustão. Assim, o balanço se torna nulo.

Note que apesar do consumo de diesel ser 31,0% menor que o de gasolina, pelo fato de seu fator de emissão ser mais elevado e também devido ao teor de álcool etílico anidro presente na gasolina, a emissão de dióxido de carbono do diesel é quase equivalente à emissão da gasolina.

Se todos os veículos movidos à gasolina fossem abastecidos somente por álcool e mantivesse o mesmo consumo, as emissões de dióxido de carbono cairiam em 49,3%.

3.1.3. Pecuária

Na UFV, cada setor é responsável pela coleta e destino dos resíduos gerados pelos animais.

A bovinocultura de corte possui um total de 450 animais, sendo 100 machos adultos, 250 fêmeas e 100 jovens. O peso médio de cada animal é de 400, 450 e 230 Kg, respectivamente. O regime de criação do gado é extensivo, desta forma, grande parte dos dejetos produzidos pelos animais fica no pasto. Apenas quando é aplicado medicamento ou análise, os animais são confinados. Os resíduos produzidos neste local são recolhidos e também jogados no pasto.

O gado de corte foi responsável pela emissão de 27,9 tCH₄ por fermentação entérica e 0,64 tCH₄ pela disposição dos dejetos no pasto durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011), o que equivale a um total de 600,55 tCO_{2e}. Nota-se que grande parte das emissões de metano do gado de corte (97,73%) se refere ao processo digestivo destes animais que tem em sua flora intestinal uma diversidade de bactérias que decompõem o alimento e geram metano. Isto fica claro no estudo MCTI (2010), no qual afirmaram que as emissões de GEE provenientes da fermentação entérica do rebanho bovino situados no Cerrado e na Amazônia correspondem a cerca de 39% e 24% das emissões do rebanho total brasileiro, respectivamente.

Os dejetos do gado de corte que foram dispostos no pasto emitiram diretamente 0,36 tN₂O e indiretamente 0,17 tN₂O, sendo que 79% deste valor foi referente a perdas de nitrogênio por lixiviação.

O número de fêmeas adultas de gado é superior ao de machos adultos e também ao de garrotes, e sua emissão de GEE também é mais elevada: 415,45 tCO_{2e}.(Figura 2).

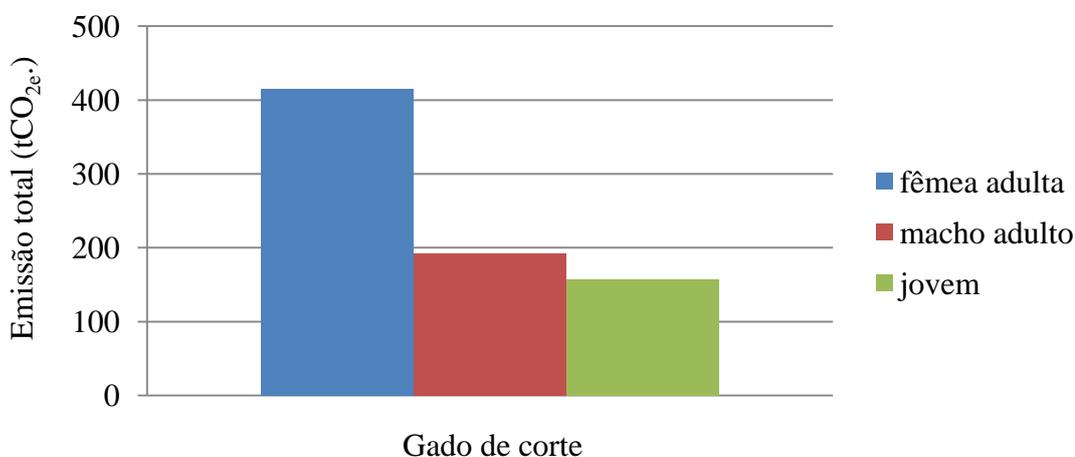


Figura 2 – Emissão total de dióxido de carbono equivalente do gado de corte por sexo e idade, em toneladas, durante o ano-base (out.2010 a out.2011).

Observado, entretanto, o valor de emissão de GEE por animal, nota-se que o macho adulto é o que apresenta maior valor, $1,92 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{animal}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, já a fêmea adulta gera uma emissão de $1,66 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{animal}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Ao todo, a bovinocultura de corte emitiu durante o ano-base adotado $765,16 \text{ tCO}_{2e}$.

A bovinocultura de leite da UFV é composta por 208 animais (62 novilhas, 73 vacas e 73 bezerros). Os dejetos gerados pela bovinocultura de leite são bombeados até dois tanques em que há um misturador que homogeneiza os resíduos produzidos para depois serem dispostos numa área próxima de pastagem. Monteiro e Azevedo (2009) relataram que os dejetos permanecem nos tanques por um período de 21 dias para estabilização. Entretanto, de acordo com o responsável pela manutenção do tanque, devido ao grande volume gerado de dejetos, o tempo é bem mais curto, menos de uma semana. O outro sistema adotado pela bovinocultura de leite é o de cama sobre cama, em que os resíduos são recolhidos e distribuídos na pastagem.

Desta forma, como os resíduos permanecem por um período de tempo muito curto armazenados no tanque e, posteriormente, são distribuídos à pastagem e os resíduos gerados pelo sistema de cama sobre cama também são dispostos na pastagem, adotou-se para os cálculos das emissões de GEE o manejo de todos os dejetos produzidos em pastagem.

Assim como encontrado para o gado de corte, a emissão de metano por fermentação entérica do gado de leite foi superior à obtida pelo manejo dos dejetos, $13,52 \text{ tCH}_4$ e $0,29 \text{ tCH}_4$, respectivamente.

O esterco gerado pelos animais no pasto, emitiu diretamente $0,29 \text{ tN}_2\text{O}$ e $0,14 \text{ tN}_2\text{O}$ indiretamente, por deposição atmosférica e escoamento superficial. Estes valores são similares aos encontrados para a bovinocultura de corte.

A bovinocultura de leite emitiu no total $423,11 \text{ tCO}_{2e}$, sendo que $68,53\%$ deste valor correspondeu às emissões de metano. Este resultado foi cerca de 1,8 vezes menor que a emissão do gado de corte no mesmo período. Isto ocorreu, principalmente, devido ao número de animais presentes nesta categoria que é bem menor que a do gado de corte, pois se compararmos as emissões de GEE por animal percebe-se que, enquanto a bovinocultura de corte gerou, por animal, $1,70 \text{ tCO}_{2e}$, o gado de leite emitiu $2,03 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{animal}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Na caprinocultura há 510 animais que ficam acondicionados em baias cobertas por serragem e também sob ripados. Em ambos os sistemas, os dejetos são recolhidos periodicamente e distribuídos em pastagem.

A emissão total de GEE pela caprinocultura durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011) foi de 250,87 tCO_{2e.}, sendo que 76,84% deste montante foi oriundo somente das emissões de metano pela fermentação entérica. A emissão de N₂O pelos dejetos destes animais no pasto foi de 0,18 toneladas, as quais 67,79% foram de emissões diretas.

O aviário da universidade conta anualmente com 10.000 aves, sendo estas galinhas e codornas. Como as aves não são animais ruminantes e nem pseudo-ruminantes, não emitem metano pelo processo de fermentação entérica.

Com relação aos resíduos gerados no aviário, verificou-se que a cama onde ficam as aves é trocada a cada 6 meses, sendo que os dejetos são destinados a terceiros que a utilizam para adubação em culturas agrícolas. Assim, os resíduos das aves geraram 0,18 tCH₄ e 0,18 tN₂O ano, totalizando 58,57 tCO_{2e.}. A maior parte do N₂O lançado à atmosfera (67,80%) foi oriunda de emissões diretas.

Já na equinocultura, os 7 cavalos são criados em regime extensivo e assim como o gado de corte, são confinados apenas quando são necessárias vistorias médicas. Os dejetos destes animais também são lançados no pasto.

Os equinos por serem animais denominados pseudo-ruminantes geram metano por fermentação entérica, entretanto, em menor quantidade quando comparados aos ruminantes. Enquanto o gado de leite gerou 65 kg CH₄.animal⁻¹.ano⁻¹, os equinos emitiram 10 kg CH₄.animal⁻¹.ano⁻¹. Ao todo, a emissão de metano pelos cavalos foi de 1,81 tCO_{2e.}, valor inferior às emissões de N₂O que foram de 2,56 tCO_{2e.}.

A UFV possui um total de 750 suínos, sendo 400 porcos matrizes destinados à reprodução e 350 porcos cujo objetivo é a pesquisa genética. Os dejetos destes suínos são encaminhados para a lagoa facultativa experimental do Departamento de Engenharia Agrícola para posterior descarte junto à rede de esgoto.

De acordo com os responsáveis por cada segmento da suinocultura, os porcos possuem diferentes pesos, sendo que a média é de 100 Kg. animal⁻¹.

Os suínos emitiram 41,25 tCH₄ por fermentação entérica, o que equivale a 866 tCO_{2e.}. A partir do peso médio do animal, das condições de temperatura e também do sistema de manejo adotado para tratamento dos resíduos, obteve-se uma emissão de 32,60 tCH₄ nas lagoas facultativas. Desta forma, houve uma emissão total de metano de

98,47 toneladas por animal, o que corresponde a uma emissão de 2,07 tCO_{2e}.animal¹.ano⁻¹.

Com relação à geração de N₂O, no sistema de lagoas facultativas a emissão ocorre indiretamente, por volatilização de nitrogênio na forma de NH₃ e NO_x. Assim, foram emitidas 0,06 tN₂O ou 18,66 tCO_{2e}. Portanto, os suínos emitiram 1.569,54 tCO_{2e} no ano-base.

A UFV não possui um biodigestor anaeróbio para realizar a queima dos gases (biogás) gerados pela decomposição dos dejetos suínos na lagoa facultativa. Apesar de exigir investimento por parte da Universidade, o biodigestor pode ser uma interessante iniciativa para a redução da emissão de metano pelos resíduos dos animais e, conseqüentemente, gerar energia para o *campus* universitário, reduzindo também o uso de GLP e outros combustíveis fósseis. Além disso, a UFV poderia pleitear créditos de carbono no mercado Quioto e voluntário.

Os 11.925 animais presentes no *campus*-sede da UFV foram responsáveis pela emissão de 125,80 tCH₄ e 1,38 tN₂O, equivalendo a 3.071,64 tCO_{2e} durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011).

Os suínos foram responsáveis por 51,08% das emissões totais de GEE, seguido do gado de corte com 24,89%. Os equinos foram, dentro das categorias de animais avaliadas, aqueles que apresentaram menor contribuição para a geração de gases de efeito estufa, 0,14% (Figura 3).

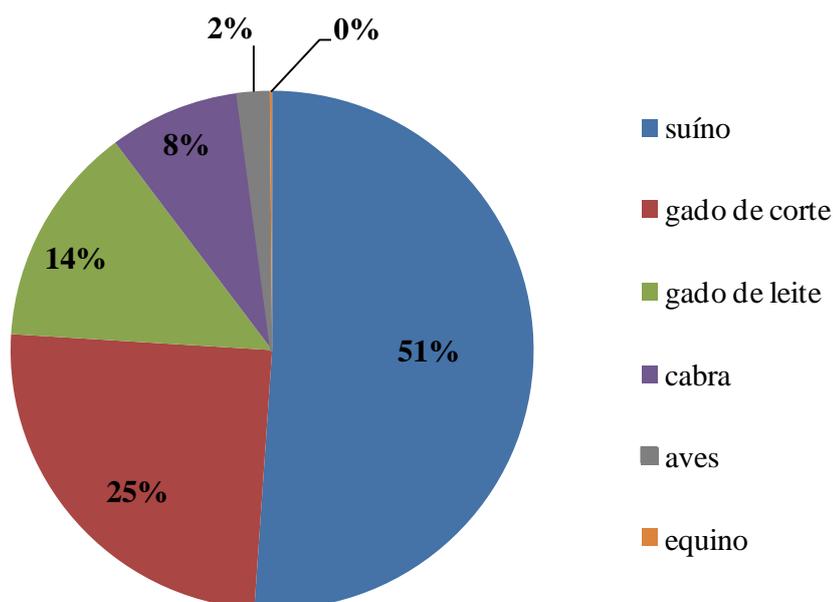


Figura 3 – Emissões totais de GEE por categoria de animal do *campus*-sede da UFV durante o ano-base (out.2010 a out.2011) , em porcentagem.

Os suínos também foram os animais com maior emissão de CO_{2e}. per capita/ano, 2,09 tCO_{2e}, pois além da grande quantidade de suínos presentes na UFV que geram metano pela fermentação entérica, o fato da decomposição dos resíduos destes animais ser feita em condições anaeróbicas, fez com que houvesse grande geração de metano.

Já as aves foi a categoria de animal com menor valor de emissão por indivíduo, 0,01 tCO_{2e}. A emissão total de N₂O por indivíduo de gado de leite foi maior quando comparada aos demais, devido à quantidade de nitrogênio excretada por esse tipo de animal que é superior aos outros animais (Tabela 4).

Tabela 4 – Emissão de GEE per capita/ano e por categoria de animal referente ao ano-base adotado (out. de 2010 a out. de 2011), *campus*-sede da UFV

| Categoria de animal | KgCH₄.animal⁻¹.ano⁻¹ | KgN₂O.animal⁻¹.ano⁻¹ | tCO_{2e}.animal⁻¹.ano⁻¹ |
|----------------------------|--|--|--|
| suíno | 98,47 | 0,08 | 2,09 |
| gado de leite | 66,38 | 2,07 | 2,03 |
| gado de corte | 63,55 | 1,18 | 1,70 |
| equino | 12,34 | 1,19 | 0,63 |
| cabra | 18,20 | 0,35 | 0,49 |
| aves | 0,02 | 0,02 | 0,01 |

3.2. Emissões indiretas

3.2.1. Energia elétrica da rede

A UFV consumiu 15.248,8 MWh de energia elétrica durante o ano-base. Esta quantidade é equivalente a uma demanda anual por energia elétrica de 8.600 pessoas, já que o consumo médio anual de eletricidade de um brasileiro é de 1.760 KWh (EDB, 2011).

Observe na Figura 4 que os meses de janeiro e fevereiro, que correspondem ao período de férias na universidade e também nos colégios situados dentro do *campus* da UFV, são os meses em que há menor consumo de energia elétrica. Com a retomada das

aulas pela maior parte da universidade no mês de março, a demanda por energia volta a crescer, apresentando um pico maior de consumo no mês de abril (1.285,2 MWh).

Da mesma maneira acontece no mês de julho, em que também há férias escolares e diminuição das atividades universitárias. Como a fatura da conta do mês de agosto refere-se na verdade ao mês anterior, julho, a queda de demanda elétrica é verificada no mês de agosto.

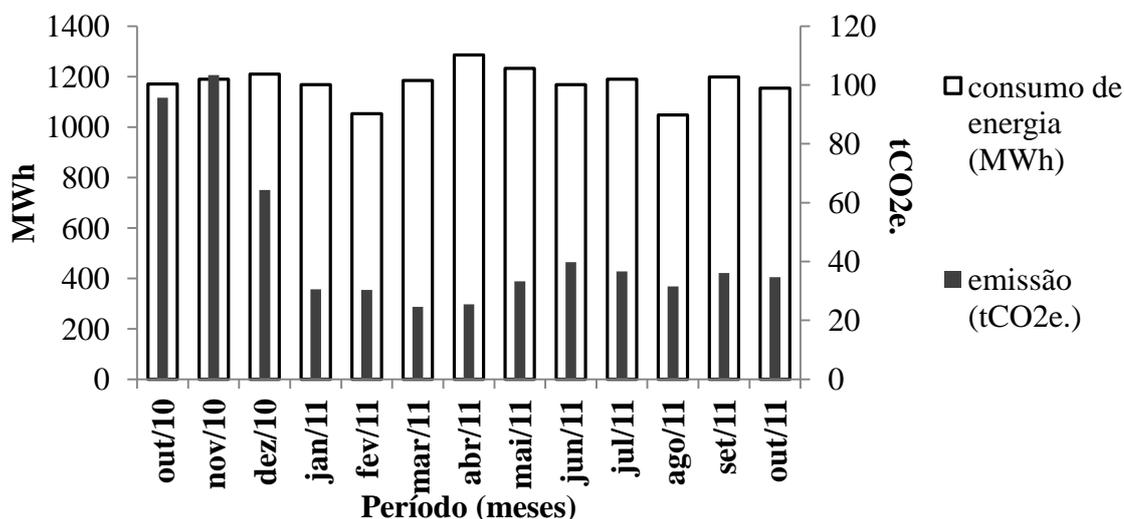


Figura 4 – Consumo de energia elétrica e emissão de GEE no *campus*-sede da UFV durante o ano-base, em MWh e tCO_{2e}, respectivamente.

A emissão de GEE oriundo do setor elétrico é dependente do consumo e também do fator de emissão de GEE equivalente àquele período. Assim, ainda que um determinado mês tenha um maior consumo de energia elétrica em relação a outro período, não necessariamente o primeiro apresenta uma emissão de CO₂ mais elevada que o segundo.

Isto pode ser observado comparando o mês de novembro de 2010 e o mês de julho de 2011. Ambos os meses tiveram o mesmo consumo de eletricidade (1.190 MWh), entretanto, enquanto o mês de julho apresentou uma emissão de 36,65 tCO_{2e}, o mês de novembro gerou 103,41 tCO_{2e}. Diferença de 66,76 tCO_{2e}.

Justifica-se este resultado, pois o fator de emissão de CO₂ do mês de julho foi de 0,0308 tCO_{2e}/MWh e o do mês de novembro de 0,0869 tCO_{2e}/MWh, variando, assim, 35,44%. Ressalta-se que estes valores variam por mês em função do regime de chuvas que abastecem as hidrelétricas do país e, que conseqüentemente, contribuem em maior

ou menor grau com as emissões de GEE, juntamente com outras matrizes energéticas brasileiras, como as termoelétricas.

O consumo elétrico do *campus*-sede da UFV durante o período do ano-base foi responsável pela emissão de 586,42 tCO_{2e}.

3.2.2. Efluente

A UFV consumiu 536.400 m³ de água tratada durante o ano-base adotado (outubro de 2010 a outubro de 2011). Este valor corresponde a uma demanda anual de um pequeno município de cerca de 9.800 habitantes, já que o consumo total de água per capita ao ano do brasileiro, em média, é de 54,75 m³ ou 150 l/hab.dia⁻¹ (AZEVEDO NETO, 1998; MAGALHÃES et al., 2001).

A geração de esgoto, baseada no consumo de água tratada, foi de 429.120 m³. Segundo o estudo conduzido por Aquino & Souza (1996), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria-orgânica, presente no efluente da UFV foi de 321 mg/l.

Este valor foi similar ao encontrado em outros estudos em *campi* universitários. Bertolino et al. (2008) obteve uma DBO de 300,0 mg/l no efluente do *campus* da Universidade Federal de Ouro Preto. Já Hattori & Lima (2010) encontraram uma DBO de 144 mg/l no *campus* Campo Mourão da UTFPR. Todos estes efluentes foram caracterizados como esgotos domésticos, ou seja, com concentração média de carga orgânica.

Desta forma, apesar do *campus*-sede da UFV possuir uma variedade de atividades que geram diferentes compostos em seus efluentes, advindos do esgoto doméstico, do laticínio, dos restaurantes e de laboratórios, a carga orgânica final do efluente é baixa, devido principalmente, à diluição que ocorre ao longo da rede coletora.

Com relação ao teor de nitrogênio presente no *campus*, Aquino & Souza (1996) obtiveram um valor médio de 26,42 mg/l.

De acordo com Saraiva (2008), os laticínios produzem efluente com alta concentração de compostos orgânicos, oriundos das atividades de processamento de leite. Assim, há grande liberação de resíduo de leite (soro), graxas, finos de queijos, gorduras, produtos de limpeza e esgoto doméstico.

Quanto maior o teor de carga orgânica do efluente, maior a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e, conseqüentemente, mais elevada é a geração de metano em processo anaeróbio.

De acordo com McCARTY (1984) citado por VERSIANI (2005), 70% do metano formado pela decomposição anaeróbia do efluente é proveniente do acetato. O CO₂, por apresentar certa solubilidade em água, é liberado apenas parcialmente para a fase gasosa, já o metano é insolúvel em água e desprendido totalmente para a fase gasosa.

Assim, a emissão de CH₄ do efluente da UFV foi de 722,95 tCO_{2e}.ano⁻¹. Já a emissão de N₂O correspondeu a 27,61 tCO_{2e}.ano⁻¹, totalizando 750,56 tCO_{2e}.ano⁻¹.

3.3. Outras emissões indiretas

3.3.1. Resíduos sólidos

O *campus*-sede da UFV gerou 1.639 toneladas de resíduo orgânico e inorgânico durante o ano-base, uma média de 4,5 t/dia. Deste montante, 938,41 toneladas (57%) correspondem a Resíduos Sólidos (RS) em geral coletados no *campus*. Já os Restaurantes Universitário e Alternativo produziram 51,17 e 32,0 toneladas de resíduo orgânico, respectivamente.

Os resíduos de poda e de manutenção dos jardins da universidade também tiveram uma grande contribuição para o somatório final (38%) (Figura 5).

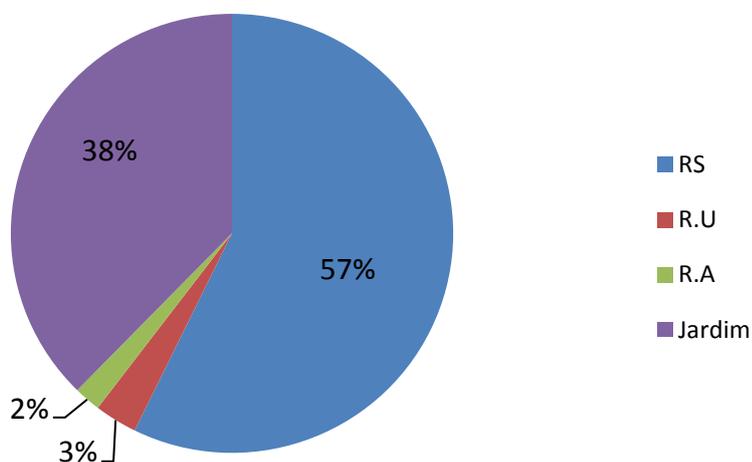


Figura 5 – Quantidade de resíduo orgânico e inorgânico gerado pelo *campus*-sede da UFV, pelo Restaurante Universitário (RU), pelo Restaurante Alternativo (RA) e pelo serviço de jardinagem, em porcentagem, durante ano-base (out.2010 a out.2011).

Os cálculos de emissão de GEE dos resíduos sólidos foram baseados no Carbono Orgânico Degradável (COD) presente nos RS, ou seja, a fração de carbono orgânico presente no material que realmente se degrada, na forma de CO₂ e CH₄. O IPCC (2006) coloca quais materiais geram COD e seu percentual em relação à massa total (Quadro 3).

Quadro 3 – Valores de Carbono Orgânico Degradável (COD) por tipo de material

| Tipo de material | COD (%) |
|--|----------------|
| Papel e têxteis | 40 |
| Resíduos de jardim e outros orgânicos (não alimentos) putrescíveis | 17 |
| Resíduos de alimentos | 15 |
| Resíduos de madeira e palha | 30 |

Fonte: IPCC (2006)

A partir da análise da composição gravimétrica do lixo multiplica-se o valor de cada material pelo seu valor de COD correspondente, obtendo-se, portanto, o COD total do resíduo.

De acordo com o IPCC (2006), países da América do Sul como o Brasil possuem COD total de 12,0%. No entanto, CETESB (2006) numa compilação de trabalhos realizados nas principais cidades brasileiras levantou que o COD total variou entre 17,8 a 28,4%, valor bem superior ao *default* do IPCC.

São escassos os estudos que descrevem a composição quantiquantitativa dos RS gerados nos campi das universidades. Gonçalves et al. (2010) relataram que, excluindo os resíduos de laboratório, 31,23% dos resíduos sólidos gerados por mês no *campus* Francisco Beltrão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná são orgânicos, 19,17% são papéis e papelão, 4,0% são resíduos de madeira e apenas 0,08% de todo o resíduo gerado contém material têxtil.

Gomes (2009) avaliando a composição dos RS da PUC-Rio, verificou que 43% do total é constituído de dejetos orgânicos, papel e papelão correspondem a 37% e outras categorias abrangem 4%.

Pereira (2007) cita em seu trabalho os resultados do relatório técnico desenvolvido na UFV em 1999, que descreve a composição gravimétrica dos resíduos

sólidos presentes no *campus*-sede da universidade. Nele, a autora relata que 51,6% do total amostrado são resíduos orgânicos gerados principalmente pelo Restaurante Universitário. Papel e papelão correspondem juntos a 25,18% e restos de madeira equivalem a 1,42% (Quadro 4).

Quadro 4 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados na UFV *campus* Viçosa

| Material | Quantidade (Kg) | % |
|----------------------|------------------------|----------|
| Papel | 156,6 | 18,57 |
| Papelão | 55,8 | 6,62 |
| Plástico filme | 64,8 | 7,68 |
| Plástico duro | 28,2 | 3,35 |
| PET | 4,0 | 0,48 |
| Metais ferrosos | 23,8 | 2,82 |
| Alumínio | 3,4 | 0,4 |
| Vidro | 37,8 | 4,48 |
| Copos descartáveis | 4,4 | 0,52 |
| Tetra Pak | 4,0 | 0,47 |
| Trapos | 8,0 | 0,95 |
| Madeira | 12,0 | 1,42 |
| Rejeito | 9,8 | 1,16 |
| Pilha | 0,1 | 0,01 |
| Lâmpada fluorescente | 0,1 | 0,01 |
| Matéria orgânica | 430,6 | 51,06 |
| Total | 843,4 | 100,0 |

Fonte: UFV (1999) citado por Pereira (2007) (Adaptado).

Percebe-se que a composição dos RS gerados em universidades é muito variada. Entretanto, nota-se que em todos os estudos apresentados, o resíduo sólido gerado nos campi das universidades é formado predominantemente de material orgânico.

Baseado no estudo desenvolvido em 1999 no *campus*-sede da UFV, obteve-se um COD de 18,54% para o resíduo sólido da universidade. Resultado coerente com a faixa de valores encontrados por CETESB (2006) em municípios brasileiros.

Os restos alimentares gerados no Restaurante Universitário e no Alternativo são coletados diariamente por terceiros. Assim, as emissões de GEE ocorrem fora do limite organizacional adotado, sendo consideradas emissões indiretas. Todavia, ao contrário dos demais resíduos sólidos gerados no *campus* que vão para o aterro sanitário, não se tem um controle sobre o manejo dos resíduos alimentares, tornando difícil conhecer a quantidade real de GEE emitida.

Pelo fato da quantidade de resíduos orgânicos gerada ser bem expressiva, considerou-se de extrema importância contabilizar os dejetos orgânicos no inventário de emissões de GEE. Desta forma, adotou-se que todos os restos orgânicos dos restaurantes foram dispostos juntamente com os demais resíduos sólidos no aterro sanitário municipal.

A emissão total de CH₄ para os resíduos oriundos do *campus*-sede da UFV durante o ano-base foi de 47,60 toneladas, o que equivale a 999,70 tCO_{2e}. O Restaurante Universitário e o Restaurante Alternativo foram responsáveis por 8,07% das emissões de metano, valor aparentemente pequeno, mas quando convertido em dióxido de carbono equivalente corresponde a uma emissão de 80,68 toneladas.

Foram recicladas 171,91 toneladas de resíduo sólido, ou seja, 18,32% da quantidade total coletada. Este material é composto de vidro, plástico e principalmente papel e papelão que contém COD. Evitou-se assim, a emissão de 378,16 tCO_{2e}. Este resultado mostra a importância da coleta seletiva e da reciclagem também para a redução da geração de GEE.

Em média, 1.691,5 quilos de resíduos de jardinagem foram gerados por dia durante o período de amostragem, totalizando, portanto, 617,4 toneladas/ano. Estes resíduos ficam acondicionados em uma área livre nos fundos da Divisão de Parques e Jardins da UFV, não sendo queimados. Assim, sua decomposição é aeróbia e o carbono gerado, incorporado ao solo.

Se considerar que os resíduos de jardinagem fossem dispostos junto com os demais resíduos coletados no *campus* no aterro sanitário, as emissões de metano chegariam a 79,93 tCH₄ ou 1.678,57 tCO_{2e}, cerca de 1,02 KgCO_{2e}/Kg de resíduo produzido.

A Figura 6 mostra a emissão total de dióxido de carbono equivalente oriunda da disposição dos resíduos sólidos e os dejetos orgânicos coletados no *campus*-sede da UFV e também a emissão potencial, em tCO_{2e}, dos resíduos de jardim se os mesmos fossem lançados no aterro sanitário.

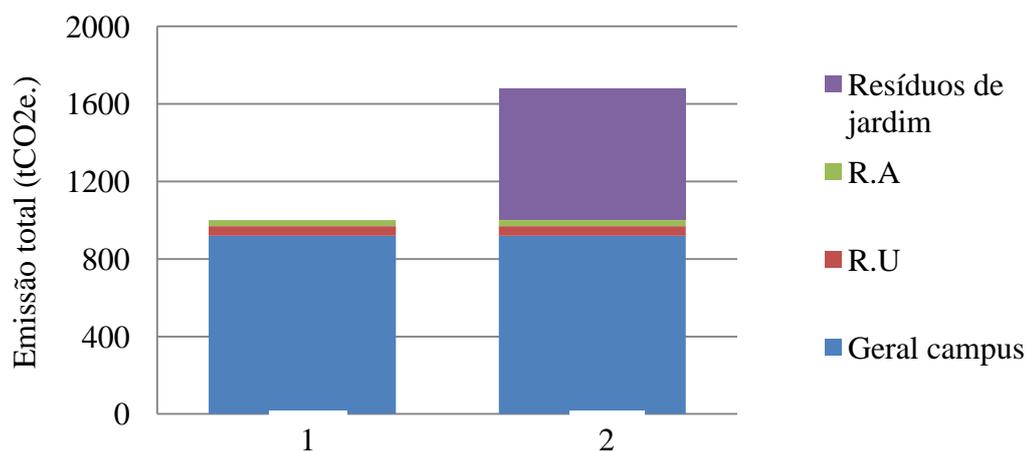


Figura 6 – Emissão total de CO_{2e} pela disposição dos resíduos geral e também dos restaurantes do *campus*-sede da UFV em aterro sanitário (1) e simulação das emissões de CO_{2e} oriundas do manejo dos resíduos de jardim (2), em toneladas, durante ano-base (out.2010 a out.2011).

3.4. Emissões totais de GEE por escopo

O *campus*-sede da UFV emitiu durante o ano-base 6.034,18 tCO_{2e}, sendo o Escopo 1 (emissões diretas) responsável por 61,0% deste valor, seguido do Escopo 2 (emissões indiretas) e Escopo 3 (outras emissões indiretas) (Figura 7).

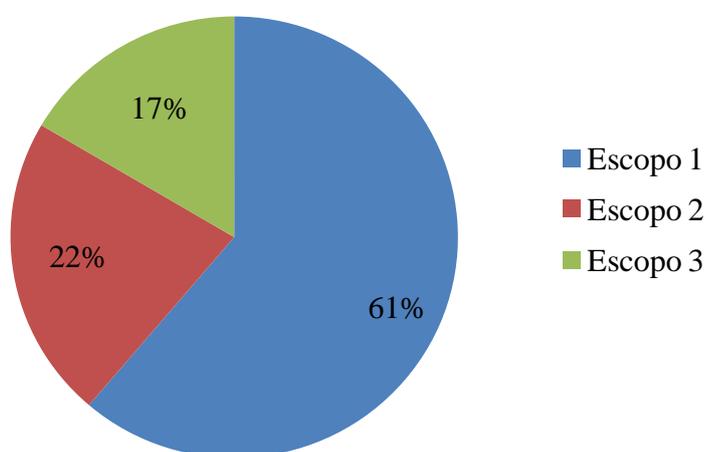


Figura 7 – Emissões de CO_{2e} do *campus*-sede da UFV durante ano-base (out.2010 a out.2011), por escopo, em porcentagem.

A pecuária foi a principal fonte de emissão de GEE da UFV, gerando 3.071,64 tCO_{2e}, valor similar ao encontrado por USP (2007) para o *campus* de Piracicaba e para o de Pirassununga, todos pertencentes à Universidade de São Paulo.

A emissão de metano principalmente pela fermentação entérica do grande número de animais, juntamente com o PAG do CH₄ e do N₂O, foram as causas do valor elevado encontrado para as emissões de dióxido de carbono equivalente na pecuária. Soma-se a isto, o fato dos dejetos dos suínos serem dispostos em lagoa anaeróbica que emitem grandes quantidades de metano.

O manejo dos resíduos sólidos da UFV, que compreende o Escopo 3, foi a segunda maior fonte de emissão de GEE, 999,70 tCO_{2e}. Este valor poderia ser ainda maior se os 18,32% de todo o resíduo não fossem reciclados e se o material de jardim fosse disposto junto aos demais resíduos no aterro sanitário do município.

No Escopo 2, destacou-se a emissão de 750,56 tCO_{2e} oriunda do tratamento anaeróbico dos efluentes gerados pela UFV numa ETE localizada em outro município (Quadro 5).

Quadro 5 – Emissões totais de CO_{2e} do *campus*-sede da UFV dividido por escopo e por fonte emissora, durante ano-base (out.2010 a out.2011)

| Escopo | Fonte de emissão de GEE | tCO_{2e} | % |
|---------------|----------------------------------|-------------------------|------------|
| 1 | Biomassa (caldeiras) | 0,42 | 0,007 |
| | Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) | 46,95 | 0,778 |
| | Combustão móvel | 578,47 | 9,586 |
| | Pecuária | 3.071,63 | 50,904 |
| 2 | Energia elétrica (rede) | 586,42 | 9,718 |
| | Tratamento de efluentes | 750,56 | 12,438 |
| 3 | Resíduo sólido | 999,70 | 16,567 |
| TOTAL | | 6.034,18 | 100 |

Atualmente, 13.931 pessoas, sendo 10.941 estudantes matriculados, 2.042 servidores e 948 docentes, exercem alguma atividade no *campus*-sede da UFV (UFV, 2011).

Se excluídas as emissões de GEE oriundas da pecuária e, deste modo, contabilizar apenas as emissões geradas por atividades antropogênicas, chega-se a uma emissão de $212,66 \text{ KgCO}_{2e} \cdot \text{pessoa}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ou $0,58 \text{ KgCO}_{2e} \cdot \text{pessoa}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$.

4. CONCLUSÕES

- O *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa (UFV) emitiu um total de 6.034,18 tCO_{2e}. durante o ano-base adotado (outubro de 2010 a outubro de 2011), em especial devido às emissões de fontes diretas (Escopo 1).
- O *campus*-sede da UFV possui uma diversidade de atividades que emitem GEE. A principal delas é a pecuária, que contribuiu com 50,90% das suas emissões, sendo que a criação de suínos foi a atividade que mais colaborou neste valor (51,08%).
- Na pecuária, a fermentação entérica foi a maior fonte emissora de CH₄ (53,51%) e o manejo dos dejetos dos animais em pastagem a atividade que mais gerou N₂O (94,78%).
- As emissões da pecuária poderiam ser reduzidas através de manejo mais adequado dos resíduos gerados, como a implementação de um biodigestor, que além de reduzir as emissões de metano, geraria energia para o *campus* universitário, reduzindo também o uso de GLP e outros combustíveis fósseis. Ademais, a UFV poderia pleitear créditos de carbono no mercado Quioto e voluntário.
- Ações como coleta seletiva, reciclagem, uso de biomassa como fonte energética, seja para a combustão estacionária ou móvel, devem ser incentivadas pela administração da UFV, de forma a contribuírem não somente com o clima, mas também com as questões ambientais em geral.
- A elaboração do inventário de GEE deve se tornar uma prática comum pela UFV, permitindo que a universidade conheça suas emissões e estabeleça estratégias e metas para redução, contribuindo assim, para atenuação do aquecimento global. Além disso, possibilitará que a administração tenha um conhecimento melhor da eficiência de seus processos e atividades.

- É importante que haja incentivo ao desenvolvimento de estudos mais específicos relacionados às atividades que ocorrem no *campus* da UFV, a fim de aprimorar os inventários de GEE.

- Pelo fato do país já apresentar metas, ainda que voluntárias, de redução de emissão de GEE e sabendo que há chances destas se tornarem obrigatórias a partir de um novo compromisso internacional pós-2012, o inventário de emissões de GEE será uma ação ainda mais consolidada, tornando necessária a participação de todos os agentes da sociedade, inclusive as universidades.

- A mudança do uso do solo e a agricultura são importantes fontes de emissão de GEE da universidade, principalmente devido à expansão cada vez maior do *campus* universitário e do cunho agrário presente na UFV. Assim, apesar de não terem sido contabilizadas neste estudo, entende-se que mais pesquisas devem ser realizadas com estas fontes, a fim de conhecer a potencial emissão de GEE destas atividades.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISO 14.064. **Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa.** Rio de Janeiro, RJ, 20p., 2007a.

ABNT NBR ISO 14.064. **Parte 2: Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa.** Rio de Janeiro, RJ, 28p., 2007b.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil: Capítulo 4 – Biomassa - 1ª Edição.** Brasília, DF: CEFOC. 153 p., 2002. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em 05 nov. de 2011.

AQUINO, S. F.; SOUZA, H. N. Caracterização dos efluentes produzidos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). **In: Relatório anual de pesquisa.** Universidade Federal de Viçosa, 20 p. 1996.

AZEVEDO NETO, J. M. **Manual de hidráulica.** Edgard Blücher: São Paulo, SP. 8ª Ed., 1998.

BEN – **Balanco Energético Nacional - Ano base 2008.** Ministério de Minas e Energia, 2009. 276p. Disponível em: <<http://www.ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 30 out. de 2011.

BERTOLINO, S. M.; CARVALHO, C. F.; AQUINO, S. F. **Caracterização e biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos esgotos produzidos em campus universitário.** Rio de Janeiro, RJ: ABES - Rev. Eng. Sanitária e Ambiental, v.13, n.3. p.271-277, 2008.

BRASIL. Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências.** Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm>. Acesso em 03 nov. de 2011.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Emissões de metano no tratamento e disposição de resíduos. In: **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência.** Brasília, DF: Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, 86p., 2006.

EDB – Energias do Brasil. **Curiosidades: Qual a média de consumo anual de energia elétrica de um brasileiro?** Disponível em:<<http://www.energiasdobrasil.com.br>>. Acesso em 31 out. de 2011.

EMBRAPA. **Documentos técnicos.** Arquivo. 2006. Disponível em:<<http://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 20 dez. de 2011.

FREITAS, A. G. **Recirculação de água de lavagem de filtros em escala piloto: uma contribuição para avaliação de perigos associados à presença de protozoários.**

2007. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa (Dissertação de mestrado), 105 p., 2007.

GHG PROTOCOL BRASIL. Especificações 2009 do Programa Brasileiro GHG Protocol. **Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários de Gases de Efeito Estufa**. Versão para inventários 2009. 57 p. 2009.

GHG PROTOCOL BRASIL. **Metodologia: Especificações**. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br>>. Acesso em 19 out. de 2011.

GOMES, P. C. G. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da PUC-Rio**. 2009. Rio de Janeiro, RJ: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Monografia de especialização em Engenharia Urbana e Ambiental), 75p., 2009.

GONÇALVES, M. S.; KUMMER, L.; SEJAS, M. I.; RAUEN, T. G.; BRAVO, C. E. C. Gerenciamento de resíduos sólidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná *Campus* Francisco Beltrão. 2010. São Paulo, SP: **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.15, p. 79-84, 2010.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: the physical basis**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 02 nov. de 2011.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. 2006.

HATTORI, A. Y.; LIMA, A. N. Caracterização físico-química dos esgotos sanitários gerados no *campus* Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). In: **Relatório final de pesquisa**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 29p., 2010.

MAGALHÃES, C. A. C.; MORENO, J.; GALVÃO JÚNIOR, A. C. Estimativa do consumo per capita em comunidades atendidas pela Unidade de Negócio do Médio Tietê. In: **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (Anais)**. ABES, 4p., 2001.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Comunicação Inicial do Brasil - Parte II: Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. 86p., 2004. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em 22 out. de 2011.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Segunda Comunicação Inicial do Brasil - Parte II: Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Capítulo 3: Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa por Setor. 102p., 2010. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em 21 out. de 2011.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no SIN do Brasil**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em 30 out. de 2011.

MONTEIRO, L. V.; AZEVEDO, M. A. Diagnóstico do sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos do *campus* Viçosa da Universidade Federal de Viçosa. In: **25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental** (Anais), 27p., 2009.

OLIVEIRA, P. P. A.; PEDROSO, A. F.; ALMEIRA, R. G.; FURLAN, S.; BARIONI, L. G.; BERNDT, A.; OLIVEIRA, P. A.; HIGARASHI, M.; MORAES, S.; MARTORANO, L.; PEREIRA, L. G. R.; VISOLI, M.; FASIABEM, M. C. R.; FERNANDES, A. H. B. M. Emissão de gases nas atividades pecuárias. In: **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA** (Anais). Foz do Iguaçu, PR, p.69 -76., 2011.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em:<<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 30 de out. 2011.

PEREIRA, S. C. M. **Desenvolvimento de uma sistemática de ação para elaboração de planos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos domiciliares – Estudo de caso de Viçosa (MG)**. 2007. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa (Dissertação de mestrado), 156p., 2007.

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa. **História**. Disponível em: <<http://www.saaevicosa.com.br/>>. Acesso em: 26 de out. 2011.

SARAIVA, C. B. **Potencial poluidor de um laticínio de pequeno porte: um estudo de caso**. 2008. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa (Dissertação de mestrado), 80p., 2008.

UFV - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **UFV em números - 2011**. Base de dados: 2010. Disponível em:<<http://www.ufv.br>>. Acesso em 02 nov. de 2011.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **Global Warming Potentials**. Disponível em:< <http://unfccc.int>>. Acesso em: 07 nov. de 2011.

USP – Universidade de São Paulo. **Inventário da Emissão de Gases do Efeito Estufa – Ano base 2007**. 22p., 2007.

VERSIANI, B. M. **Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ**. 2005. Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro (Dissertação de mestrado), 88p., 2005

CAPÍTULO 4

BALANÇO DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO CAMPUS-SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RESUMO

BRIANÉZI, Daniel, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Balanço das emissões de gases de efeito estufa do *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Pedro Boechat Soares.

Objetivou-se com este estudo gerar o balanço das emissões e remoções de GEE do *campus*-sede da UFV, comparando a emissão de GEE do ano-base adotado (out. 2010 a out. 2011) e o Incremento Médio Anual de Carbono (IMAC) pelos sumidouros da universidade. Para isto, gerou-se, primeiramente, dois balanços: um rural, comparando as emissões da pecuária, principal fonte emissora de GEE da UFV e os sumidouros de carbono da universidade; e outro denominado urbano que equiparou as demais emissões de GEE do *campus* com a taxa de fixação de carbono pela arborização. Os dados de incremento de carbono pela arborização e de emissão de GEE foram retirados dos capítulos anteriores. Já o cálculo de IMAC dos demais sumidouros foram balizados em trabalhos desenvolvidos na mesma tipologia florestal, preferencialmente na região de Viçosa. A emissão urbana de GEE da UFV foi de 2.962,54 tCO_{2e}, sendo que a arborização urbana fixa anualmente 125,70 tCO_{2e} (4,24% das emissões). Apesar de não compensar todas as emissões, a arborização compensa a emissão de GEE oriunda da queima de biomassa, de GLP e 13,54% das emissões anuais da frota de veículos da UFV. Com relação ao balanço rural, ao todo, as áreas de floresta, capoeira e reflorestamento presentes no *campus*-sede da UFV apresentaram uma taxa de fixação anual de carbono de 5.181,47 tCO_{2e}, valor superior à emissão de GEE pela pecuária (3.071,64 tCO_{2e}), tornando o balanço positivo. Todavia, esta compensação poderia ser ainda maior, se todas as Áreas de Preservação Permanente (APPs) localizadas no *campus* fossem florestadas. Ao fazer o balanço geral (urbano e rural) verifica-se que os sumidouros presentes no *campus* fixam 5.307,16 tCO_{2e} e compensam 87,95% das emissões totais (6.034,18 toneladas de CO_{2e}) da UFV. Apesar do *campus*-sede da UFV possuir uma grande extensão de

sumidouros, que representam 39,84% de sua área total, ainda há necessidade de expandi-los para que ocorra a neutralização total de suas emissões de GEE. Portanto, o balanço geral das emissões e remoções de GEE do *campus*-sede da UFV foi negativo. Embora tenha apresentado este resultado, os sumidouros de carbono são importantes para a compensação de parte das emissões de GEE geradas. Além disso, deve ser fomentadas ações de redução de emissões de GEE no *campus*-sede, através, por exemplo, do manejo adequado dos animais, redução de geração de resíduos, substituição dos combustíveis fósseis, dentre outros.

ABSTRACT

BRIANÉZI, Daniel, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2012. **Greenhouse gases balance in *campus* of Universidade Federal de Viçosa.** Advisor: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-Advisor: Carlos Pedro Boechat Soares.

This study objectived to generate the balance of emissions and removals of GHG from the principal *campus* of UFV, comparing the GHG emissions for the base-year adopted (oct. 2010 to oct. 2011) and the annual mean increment of carbon by sinks of the university. For this, was generated, first, two balances, a rural, comparing emissions from livestock, main GHG emitting source of UFV, and sinks of carbon from the university, and another, called the urban that compared others GHG emissions of campus with the rate of carbon fixation by urban trees. The carbon increment data for urban trees and GHG emissions were taken from the previous chapters. The calculation of the carbon increment of sinks were based in other works developed in the same forest type, preferably in the region of Viçosa. The GHG urban emission of UFV was 2962.54 tCO_{2e}., and the urban forestry fixed 125.70 tCO_{2e} annually (4.24% of emissions). Although not offset all emissions, urban trees offset the GHG emissions arising from biomass burning, LPG and 13.54% of annual emissions of the vehicle fleet of UFV. About the rural balance, the areas of forest, scrub and reforestation located in the UFV *campus* showed an annual carbon fixation rate of 5181.47 tCO_{2e}., higher than the GHG emissions by livestock (3071,64 tCO_{2e}.), making this positive. However, this compensation could be still higher if all the Permanent Preservation Areas (PPAs) located in the *campus* were forested. Added the rural and urban balance was found that sinks located on *campus* fixed 5307.16 tCO_{2e}. and offset 87.95% of total emissions (6034.18 tCO_{2e}.). Although the *campus* of UFV has a range of sinks, which represent 39.84% of its total area, there is a need to expand them for to neutralize the total GHG emissions. Therefore, the overall balance of emissions and removals of the *campus* of UFV was negative. Although this result, the sinks of carbon are important to offset the GHG emissions generated. In addition, actions should be encouraged to reduce greenhouse gas emissions on *campus* through, for example, the appropriate management of animals, reduction of waste generation, replacing fossil fuels and others.

1.INTRODUÇÃO

O mundo tem passado por diversas transformações físicas ao longo dos séculos e muito se tem discutido sobre as mudanças climáticas e seus reais impactos ambientais negativos para a sociedade. No ano de 2007, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) relatou como muito provável (90% de certeza) que as mudanças climáticas que estão ocorrendo no mundo têm a contribuição da ação do homem (IPCC, 2007).

Ainda que não haja consenso absoluto pelos cientistas de que o globo terrestre tem sofrido com as alterações climáticas e que estas são causadas, principalmente por ações antrópicas, através da emissão dos denominados Gases de Efeito Estufa (GEE), deve-se atentar sempre para o princípio da precaução.

De acordo com o Princípio da precaução, princípio moral e político muito discutido no Direito Ambiental, diante de uma ação que pode originar um dano irreversível público ou ambiental, na ausência de consenso científico irrefutável, o ônus da prova encontra-se do lado daquele que pratica a ação que pode gerar o dano (UNITED NATIONS, 1992).

Deste modo, o Brasil tem firmado seu compromisso de redução das emissões de GEE, entre 36,1% a 38,9% até 2020 (PNMC, Lei 12.187/2009) junto à ONU e a sociedade mundial, introduzindo a previsão de utilização de instrumentos financeiros e econômicos para promover ações de mitigação e adaptação à mudança do clima.

Em São Paulo, foi estabelecida a Lei Nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo (PEMC). Uma das principais diretrizes da nova lei é elaborar, atualizar periodicamente e colocar à disposição pública inventários de emissões antrópicas de GEE.

Estas ações já vêm sendo incorporadas por algumas universidades no mundo. Segundo Rives (2011) nos últimos quatro anos, 674 universidades e faculdades americanas têm como meta tornarem-se neutras para o clima, ou seja, estão propondo ações de redução de emissão de dióxido de carbono e de outros gases causadores da elevação das temperaturas globais.

Ainda de acordo com a autora, destas escolas, 535 apresentaram inventários de emissão de gases de efeito estufa e 320 elaboraram planos com detalhes de como e quando atingirão as metas de emissão nula.

Outra iniciativa interessante de remoção de CO₂ da atmosfera é a neutralização/compensação de carbono. Neutralizar significa compensar as emissões de gases de efeito estufa de determinada(s) atividade(s) através de iniciativas de redução ou remoção de gases emitidos das atividades humanas que contribuem para o efeito estufa, seja através, por exemplo, do plantio de árvores, conservação de áreas verdes ou compra de créditos no mercado de carbono.

As primeiras ações de neutralização de emissões de carbono tiveram início na Europa, cujos países trabalhavam sob políticas poluidoras mais restritivas e uma maior consciência ambiental. No Brasil, o movimento de neutralização voluntária ganhou força a partir do ano de 2005. Atualmente, diversos eventos, produtos e festivais nacionais e internacionais têm suas emissões neutralizadas como: a Copa do Mundo de 2006 na Alemanha e de 2010 na África do Sul (*Green goal*), os Jogos Pan-Americanos na cidade do Rio de Janeiro em 2006, dentre outros.

Os organismos governamentais também têm adotado ações de neutralização de suas emissões. A portaria nº. 06/2007 da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e do Verde de São Paulo, por exemplo, coloca que os eventos realizados nos parques municipais, como shows, concertos, exposições e eventos do gênero, são obrigados a compensarem suas emissões de carbono com o plantio de árvores pela cidade, além de ter que realizar o manejo adequado dos resíduos gerados pelos eventos.

Desta forma, nota-se que é cada vez maior a exigência para que instituições, organizações e prefeituras se adequem a um mercado direcionado às questões ambientais e as áreas verdes urbanas, até então deixadas a segundo plano, surgem como espaços potenciais para projetos de compensação de emissões de GEE.

Neste sentido, com o presente estudo objetiva-se realizar o balanço das emissões e remoções de GEE do *campus*-sede da UFV, comparando a emissão de GEE do ano-base adotado e o incremento de carbono pelos sumidouros da universidade.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1.Descrição do local de estudo

O *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa está inserido no município de Viçosa, na Zona da Mata Mineira, entre as coordenadas geográficas 42° 52'W e 42° 50'W de longitude e 20° 44'S e 20° 47'S de latitude, totalizando uma área de 1.359 hectares (PORTES et al., 2009).

O clima na região é do tipo Cwa (Köppen), mesotérmico com verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos. A temperatura média anual é de 21,8°C e a precipitação pluviométrica média anual de 1.314,2 mm (CASTRO et al., 1983).

2.2.Conversão de carbono em CO_{2eq}.

A partir dos resultados de estoque e incremento de carbono obtidos no Capítulo 2 foi feita a transformação da massa de carbono para tCO_{2 eq.}, unidade padrão utilizada que compara a intensidade de radiação de um Gás de Efeito Estufa (GEE) ao do dióxido de carbono, através da multiplicação pelo fator 3,67, que corresponde a massa específica do dióxido de carbono (44) sobre a massa específica do elemento carbono (12) (Equação 1).

$$tCO_{2eq.} = \left(C * \frac{44}{12} \right) / 1000 \quad (1)$$

em que:

tCO_{2eq.} = dióxido de carbono equivalente, em toneladas.

C = teor de carbono, em kg.

44/12 = massa específica do dióxido de carbono (44) sobre a massa específica do elemento carbono (12).

2.3.Cálculo do balanço de emissões de GEE

No Capítulo 2, gerou-se o estoque e o incremento de carbono existente na arborização do *campus*-sede da UFV, entretanto, além da arborização urbana, há outros espaços, denominados áreas verdes como praças, jardins públicos, parques urbanos, canteiros, dentre outros, que também exercem funções estéticas e ecológicas (PEREIRA LIMA, 1994 apud LOBODA & DE ANGELIS, 2005).

A UFV é delimitada por vasta cobertura florestal como a Mata do Paraíso, Recanto das Cigarras, Mata da Silvicultura, da Agronomia, dentre outras, que exercem diversas funções para a comunidade científica e viçosense. Estas coberturas florestais são classificadas como Floresta Estacional Semidecidual Montana, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1992).

Além das florestas, o *campus*-sede da UFV possui outros importantes sumidouros de carbono, como área de capoeira e de reflorestamento, que fixam o dióxido de carbono presente na atmosfera e contribuem para a mitigação das mudanças do clima (Tabela 1).

Tabela 1 – Classes de ocupação do solo e suas respectivas áreas no *campus*-sede da UFV

| Classe | Área (ha) | % |
|-----------------|------------------|------------|
| Pastagem | 620,24 | 45,71 |
| Floresta | 270,43 | 19,93 |
| Capoeira | 175,19 | 12,92 |
| Infraestrutura | 127,63 | 9,41 |
| Agricultura | 83,83 | 6,17 |
| Reflorestamento | 59,88 | 4,41 |
| Mata ciliar | 19,65 | 1,45 |
| Total | 1.359 | 100 |

Fonte: Portes et al. (2007)

Deste modo, estimou-se o Incremento Médio Anual de Carbono (IMAC) das áreas de floresta, capoeira, reflorestamento e mata ciliar presentes no *campus*-sede da UFV. Para isto, buscou-se trabalhos realizados no próprio *campus*, no município e também na mesma tipologia florestal.

As pastagens apesar de também fixarem o dióxido de carbono atmosférico através da fotossíntese, não foram computadas como sumidouros, pois as mesmas são consideradas como linha de base em projetos de compensação de carbono, já que entende-se que a ocorrência de pastagens, muitas destas abandonadas, é cenário comum no país e que medidas compensatórias devem ser adicionais às práticas vigentes, como por exemplo, o reflorestamento.

As áreas com agricultura também foram excluídas, pois uma vez que a biomassa é estocada nos plantios, logo a mesma é exportada do local, através das colheitas realizadas e reformas no plantio, tornando o balanço das emissões e remoções de dióxido de carbono nulo.

No Capítulo 3 destacou-se que a emissão anual de GEE pelas atividades da UFV foi de 6.034,18 tCO_{2e} durante o ano-base adotado, sendo que a principal fonte emissora é a pecuária (50,90%). Como a pecuária é uma atividade de cunho rural e sabendo que a UFV possui áreas de florestas que compõem sua Área de Preservação Permanente (APP) e Área de Reserva Legal (ARL) (Lei n^o.4771/65), traçou-se um balanço das emissões de GEE, denominado aqui como rural, separando as emissões da pecuária e o incremento médio anual de carbono das florestas da UFV.

As demais emissões de GEE foram comparadas ao IMAC da arborização do *campus*, gerando o balanço urbano de emissões e remoções de GEE. Por fim, obteve-se o balanço geral das emissões e remoções de GEE da UFV a partir da taxa anual de fixação de carbono dos sumidouros avaliados e a emissão total de CO_{2e} gerada no *campus* durante o ano-base estipulado (outubro de 2010 a outubro de 2011).

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.Balanco de emissões e remoções de GEE urbanas

As árvores presentes no *campus*-sede da Universidade Federal de Viçosa apresentaram um Incremento Médio Anual de Carbono (IMAC) de 7,79 KgC.indivíduo⁻¹.ano⁻¹, sendo que, ao se contabilizar a copa e a raiz das árvores, obteve-se um IMAC de 9,30 KgC.indivíduo⁻¹.ano⁻¹ (Capítulo 2). Assim, se extrapolado para todos os indivíduos avaliados, isto equivale a uma taxa de 125,70 tCO_{2e}.ano⁻¹.

Excluída a pecuária, o total das emissões de GEE do *campus*-sede da UFV é de 2.962,54 tCO_{2e}. Deste modo, nota-se que a arborização do *campus* contribui com a mitigação de apenas 4,24% deste valor.

Traçado um paralelo com uma área de floresta natural em estágio avançado de regeneração de mesmo tamanho que a encontrada para as árvores urbanas no *campus*-sede (15,47 ha) e incremento médio de 1,5 tC.ha⁻¹.ano⁻¹, observa-se que a taxa de fixação de carbono total obtida, 23,20 tC.ano⁻¹, compensa somente 2,87 % das emissões urbanas do *campus*. Portanto, nota-se que o valor encontrado é menor que o obtido para a arborização.

Desta maneira, as árvores do *campus* apresentam um incremento médio de carbono superior ao de uma floresta madura, pois esta já se encontra próxima de seu clímax de desenvolvimento e também seus indivíduos sofrem maior competição por recursos naturais entre si. No entanto, para isto, as árvores urbanas necessitam de áreas maiores para desenvolvimento.

Se fosse possível compensar o restante destas emissões de GEE da UFV, sem a pecuária, com árvores urbanas e mantendo a mesma taxa anual de emissão, seria necessário, por exemplo, o plantio por ano de 16.624 árvores adotando um período de estocagem de 5 anos ou 2.771 indivíduos traçando um horizonte de 30 anos. Observa-se, portanto, que o número de árvores necessárias para compensar as emissões de GEE anuais da UFV é bem expressivo, requerendo investimentos e principalmente área.

Os espaços urbanos, em sua grande maioria, sofrem com a falta de planejamento e não possuem áreas disponíveis para uma arborização adequada nas vias e praças. Deste modo, torna-se uma tarefa muitas vezes difícil o plantio de um número elevado de árvores para compensar as emissões de GEE de um município.

Goiânia, conhecida como a capital verde do Brasil, é um dos raros exemplos nacionais de planejamento arbóreo. A cidade possui cerca de 950.000 árvores pertencentes a 328 espécies diferentes em vias públicas. Há ainda 16 parques e 401 praças, gerando um Índice de Área Verde (IAV) de 94,0 m²/habitante e uma média de 0,79 árvores/habitante (AMMA, 2008).

Se adotar o mesmo incremento de carbono obtido neste estudo para as árvores urbanas de Goiânia, pode-se estimar que as mesmas podem compensar todo ano cerca de 27.160 tCO_{2e}. das emissões totais da cidade, valor que pode amortizar parte significativa das emissões de GEE do município.

Ao analisar as emissões de GEE por fonte, nota-se que as árvores urbanas contribuem com a compensação de toda a emissão anual de CO_{2e}. da queima de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e de biomassa que abastece as caldeiras da universidade (47,38 tCO_{2e}).

Além disso, a arborização do *campus* compensa 13,54% das emissões oriundas da combustão móvel, sendo que este valor poderia ser ainda maior, chegando a 27,46%, se houvesse a substituição do consumo de gasolina por etanol nos veículos da universidade.

3.2. Balanço de emissões e remoções de GEE rurais

3.2.1. Sumidouros de CO₂

Florestas

A UFV possui 290,08 ha de florestas naturais, sendo que 6,7% deste valor refere-se às matas ciliares (PORTES et al. 2007). Grande parte destas vegetações são caracterizadas como florestas secundárias, ou seja, já sofreram algum tipo de intervenção humana, pois no passado com o auge da cafeicultura, muitas áreas florestadas deram lugar às lavouras cafeeiras (PREFEITURA MUNICIPAL DE VIÇOSA, 2011).

Diversos estudos já foram conduzidos nas áreas florestadas do *campus*-sede da UFV, dentre eles o desenvolvido por Amaro (2010) que, estudando um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual de 17 hectares em estágio avançado de sucessão estimou um estoque médio total (parte aérea e raiz) de 101,7 tC.ha⁻¹ e incremento médio de 1,5 tC.ha⁻¹.ano⁻¹.

Valor similar ao encontrado por Boina (2008). A autora avaliando um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no Vale do Rio Doce, Minas Gerais, encontrou uma taxa de fixação média de carbono de $1,34 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Desta maneira, se adotarmos o mesmo incremento de $1,5 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ apresentado no estudo de Amaro (2010) para as florestas presentes no *campus* universitário, obtém-se, ao todo, $435,12 \text{ tC.ano}^{-1}$.

Capoeira

Cerca de 175 ha do *campus* da UFV são compostos por capoeira. No estudo desenvolvido por Silva (2007a) em Manaus, a autora obteve um incremento médio de biomassa acima do solo para duas áreas de capoeira aos 14 e 23 anos, de $10,8$ e $10,6 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, gerando $5,2$ e $5,0 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, respectivamente.

Salomão (1994), estudando áreas de capoeiras localizadas na Amazônia Central quantificou para as mesmas $2,0 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Deste modo, como não se conhece o estado de conservação das capoeiras do *campus*-sede da UFV e baseado nos estudos citados, adotou-se, de forma conservadora, um incremento de $2,0 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para estas áreas.

Assim, o incremento total de carbono para as capoeiras presentes na universidade é de $350,38 \text{ t.ano}^{-1}$.

Áreas de reflorestamento

De acordo com Brown et al. (1989), plantações de *Eucalyptus sp.*, *Tectona grandis* e *Pinus sp.* podem fixar entre $2,7$ e $9,6 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, entretanto, estes valores podem ser maiores. Reis et al. (1994), por exemplo, obtiveram para povoamentos de eucalipto no Espírito Santo, um incremento médio de carbono de $10,32 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Já Paixão et al. (2004) estudando plantios de eucalipto aos 6 anos de idade em Viçosa, MG, quantificaram para a parte aérea, raiz e manta orgânica, $11,85 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Silva (2007b), avaliando plantios de eucalipto em três classes de produtividade no município de Guanhães (MG), obteve, em média, um incremento de $10,09 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Levando-se em consideração, portanto, os estudos relatados e sabendo que a maior parte das áreas de reflorestamento no *campus*-sede da UFV é formada por plantios de eucalipto, adotou-se para estas áreas um incremento médio de carbono

de 10,46 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Logo, as áreas de reflorestamento da UFV fixam em torno de 626,34 tC ao ano.

Assim, apesar de 5 vezes menor que as áreas de floresta, as áreas de reflorestamento apresentaram uma taxa de fixação anual de carbono 1,4 vezes maior, por possuírem um alto valor de incremento.

Desta maneira, ao todo, as áreas de floresta, capoeira e reflorestamento presentes no *campus*-sede da UFV apresentaram uma taxa de fixação anual de carbono de 5.181,47 tCO_{2e}, valor superior à emissão de GEE pela pecuária (3.071,64 tCO_{2e}).

Para que neutralizasse apenas as emissões oriundas da pecuária, seria necessária uma área de 311,31 ha, cerca de 2/3 da área total dos sumidouros.

Segundo estudo de Portes et al. (2007), 354,89 ha ou 26,11% da área total da universidade são Áreas de Preservação Permanente (APP) que, de acordo, com a Resolução n° 303/2002 do CONAMA, são instrumentos de relevante interesse ambiental. Ainda segundo os autores, parte desta APP se encontra ocupada pela infraestrutura do *campus*.

Com relação às Áreas de Reserva Legal (ARL), de acordo com o Código Florestal (Lei n°4.771/65), no bioma Mata Atlântica 20% da área total do imóvel, excluindo-se as APPs, deve ser delimitada como ARL. Deste modo, sabendo que a área total do *campus*-sede da UFV é de 1.359 ha e as APPs formam 354,89 ha, a ARL deve ser de 200,80 ha. Ao somar as APPs e a ARL, obtêm-se 555,69 ha, valor superior às áreas de floresta, capoeira e reflorestamento da universidade juntas.

Assim, as APPs e ARL com vegetação da UFV compensam toda a emissão de GEE oriunda da pecuária. Entretanto, se esta área total fosse igual à exigida por lei, o potencial de compensação de GEE da universidade poderia ser ainda maior, mostrando a importância destas áreas também na mitigação do efeito estufa.

O solo

O solo, principal reservatório terrestre de carbono, compreende aproximadamente o dobro da quantidade de carbono atmosférico e da biomassa vegetal (Bruce et al., 1999).

Entretanto, o solo apresenta baixo incremento de carbono. Ferez (2010) comparando o estoque de carbono orgânico do solo de uma Floresta Estacional Semidecidual e um plantio de restauração, concluiu que não havia diferença

significativa entre as áreas. Além disso, segundo a autora, o estoque de carbono no solo da área de restauração antes do plantio era de $30,9 \pm 5,9 \text{ tC.ha}^{-1}$, após 6 anos o solo apresentava $34,0 \pm 6,7 \text{ tC. ha}^{-1}$, ou seja, um incremento de cerca de $0,5 \pm 0,1 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Segundo Bernoux et al. (2002) a camada de 0-30 cm dos solos de uma Floresta Estacional Semidecidual contém em média $41,7 \text{ tC.ha}^{-1}$, valor maior ao encontrado por Ferez (2010). Portanto, o estoque de carbono no solo apresenta grande variação espacial e baixa variação temporal (SMITH, 2004).

Assim, o potencial de estocagem de carbono no solo dos sumidouros da universidade pode ser mais elevado. Como a assimilação de carbono no solo é dependente de vários fatores, fica difícil estimar o potencial de estocagem de carbono para todas as áreas, sendo excluído das estimativas.

3.3. Balanço geral (urbano e rural)

Ao final, somando o incremento de carbono de todos os sumidouros, obteve-se um total de $5.307,16 \text{ tCO}_{2e}$, sendo que 43,31% deste valor é referente às áreas de reflorestamento (Tabela 2).

Tabela 2 – Incremento de carbono e área ocupada por cada classe de vegetação no *campus*-sede da UFV

| Classe | Incremento ($\text{tCO}_{2e}.\text{ano}^{-1}$) | Incremento (%) | Área (ha) | Área (%) |
|--------------------------------|---|-------------------|---------------|------------|
| arborização do <i>campus</i> * | 125,70 | 2,37 | 15,47 | 2,86 |
| capoeira | 1.285,89 | 24,23 | 175,19 | 32,40 |
| floresta | 1.596,89 | 30,09 | 290,08 | 53,66 |
| reflorestamento | 2.298,68 | 43,31 | 59,88 | 11,08 |
| Total | 5.307,16 | 100 | 540,62 | 100 |

* Totalizado parte aérea e raiz.

Apesar do *campus*-sede da UFV possuir uma grande extensão de sumidouros, que representam 39,84% de sua área total, a emissão de GEE da UFV foi ainda um pouco superior a taxa de fixação média anual de carbono. Portanto, o balanço geral das emissões e remoções de GEE do *campus*-sede da UFV foi negativo (Figura 1).

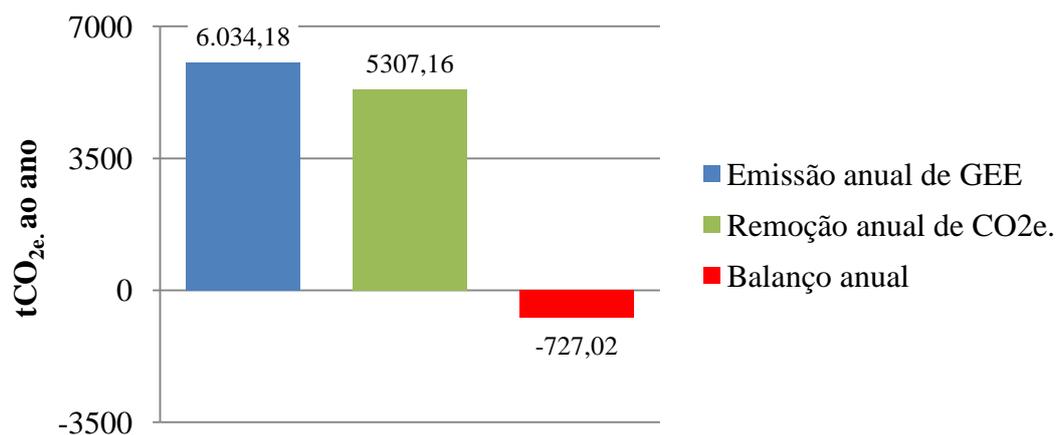


Figura 1 – Balanço geral das emissões e remoções de GEE do *campus*-sede da UFV.

Observa-se, deste modo, que as áreas de vegetação presentes no *campus*-sede da UFV não neutralizam toda a emissão de GEE gerada pelas atividades da universidade. Entretanto, estas áreas contribuem para a mitigação das emissões geradas e, conseqüentemente, para a atenuação das mudanças climáticas.

Partindo do pressuposto que a UFV desejasse compensar o restante de suas emissões com o plantio de árvores no próprio *campus*, a fim de tornar seu balanço geral de emissões e remoções de GEE nulo, levou-se em consideração neste estudo duas possibilidades: a recomposição vegetal com espécies nativas ou o plantio de árvores nas vias urbanas do *campus*.

Segundo Melo e Durigan (2006), plantios com espécies nativas na região de São Paulo, apresentaram um incremento médio de 5,2 tC.ha⁻¹.ano⁻¹. Já Preiskorn (2011) obteve uma taxa média de fixação de carbono de 4,6 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ para plantios de restauração na margem da Rodovia dos Bandeirantes, São Paulo.

Deste modo, caso a universidade optasse como forma de compensação o reflorestamento com espécies nativas e adotando um valor médio de 5,0 tC.ha⁻¹.ano⁻¹, a UFV necessitaria plantar 39,62 ha com espécies nativas para neutralizar todas as suas emissões de GEE anuais. Levando em consideração que uma Floresta Estacional Semidecidual atinge seu clímax de crescimento próximo dos 30 anos e que mantivesse a mesma taxa de emissão de GEE por ano, a Universidade compensaria suas emissões durante o tempo de crescimento da floresta.

Se a compensação do restante das emissões de GEE da universidade fosse realizada com o plantio de árvores nas vias de acesso e estacionamentos do *campus*-

sede, deveria-se plantar cerca de 21.300 árvores distribuídas em uma área total de 41,83 ha.

Nota-se, portanto, que a estocagem de carbono pela arborização pode ser uma proposta interessante para a compensação de GEE, desde que haja espaço, planejamento e monitoramento adequado para isto.

Uma ação interessante para a compensação das emissões a partir do plantio de árvores no campus, é envolver estudantes e funcionários da própria UFV.

Conforme discutido no Capítulo 3, na UFV, há atualmente 13.931 pessoas, sendo que 10.941 são estudantes matriculados, 2.042 são servidores, 948 são docentes e a emissão per capita calculada foi de 212,66 KgCO_{2e}.ano⁻¹. Desta maneira, considerando que um curso de graduação na Universidade tem duração em torno de 5 anos, cada estudante matriculado deveria plantar cerca de 7 árvores para compensar suas emissões neste tempo ou 2 árvores levando em consideração um período de crescimento da árvore de 20 anos.

No caso de um docente ou servidor da Universidade que desejasse compensar todas as suas emissões num período de 30 anos, correspondente ao seu tempo de serviço, cada trabalhador deveria plantar 10 árvores adotando um período de crescimento arbóreo de 20 anos.

Outra iniciativa complementar que pode contribuir para a compensação total das emissões do *campus* é a compra de créditos de carbono no mercado de carbono, Quioto e voluntário.

Assim, instituições (como a UFV) e qualquer outra organização ou órgão, como prefeituras podem adquirir créditos de carbono de projetos de redução/remoção de GEE, de forma a abater o restante de emissões não compensadas pelas suas áreas verdes.

Desta forma, a administração pública deve vislumbrar nas áreas verdes urbanas não somente os benefícios ambientais e sociais já conhecidos, mas também um viés econômico, seja através de projetos de comercialização de créditos de carbono, como também iniciativas voluntárias de compensação/neutralização das emissões de GEE.

Paralelo a isso, é importante frisar a necessidade da adoção de medidas de redução de emissões de GEE, como substituição da gasolina utilizada pela frota de veículos da UFV por etanol, quando possível; diminuição da geração de lixo, e

aumento da coleta seletiva e da reciclagem; melhorias no manejo dos animais; dentre outros.

4.CONCLUSÕES

- A emissão urbana de GEE da UFV durante o ano-base (outubro de 2010 a outubro de 2011) foi de 2.962,54 tCO_{2e}., sendo que a arborização urbana fixa anualmente 125,70 tCO_{2e}. (4,24% das emissões). Apesar de não compensar todas as emissões, a arborização compensa a emissão de GEE oriunda da queima de biomassa, de GLP e 13,54% das emissões anuais da frota de veículos da UFV.
- As áreas de floresta, capoeira e reflorestamento presentes no *campus*-sede da UFV apresentaram uma taxa de fixação anual de carbono de 5.181,47 tCO_{2e}., valor superior à emissão de GEE pela pecuária (3.071,64 tCO_{2e}.). Deste modo, o balanço rural de emissões e remoções de GEE foi positivo.
- As áreas de reflorestamento foram o principal sumidouro de carbono do *campus*-sede da UFV, tendo contribuído com 43,31% das remoções anuais de dióxido de carbono.
- Verificou-se que os sumidouros presentes no *campus* fixaram 5.307,16 tCO_{2e}. e compensaram 87,95% das emissões totais (6.034,18 toneladas de CO_{2e}.) da UFV. Deste modo, o balanço geral obtido das emissões e remoções de GEE da UFV foi deficitário.
- As áreas verdes urbanas, em geral, possuem um grande potencial de fixação de carbono. No entanto, para isto, deve haver um planejamento do espaço a ser utilizado e elaborar um plano de arborização adequado no qual permita um inventário arbóreo contínuo, destacando as condições fitossanitárias das árvores e atrelando ferramentas importantes de monitoramento.
- A compensação de carbono a partir da arborização é uma prática interessante de atenuação do efeito estufa, mas não se resume a ela mesma. Assim, é importante que esta esteja interligada com outras ações de compensação, como a conservação florestal e plantios de recomposição vegetal em áreas degradadas.

- Concomitantemente à prática de compensação, devem-se adotar metas próprias de redução das emissões de GEE, a fim de contribuir para o balanço das emissões e remoções de GEE da UFV, para o cumprimento das metas nacionais de redução de GEE e para a minimização das mudanças do clima.

-É importante que se realize estudos mais aprofundados nas vegetações presentes no *campus*-sede da UFV, para que se possa obter o estimativas mais consistentes do potencial de estocagem de carbono dos sumidouros da universidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO, M. A. **Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, MG.** 2010. 168f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.

AMMA – Agência Municipal do Meio Ambiente. **Plano Diretor de Arborização Urbana de Goiânia.** 2008. 131p. Disponível em:<http://www.goiania.go.gov.br/download/amma/relatório_Plano_Diretor.pdf>. Acesso em: 09 dez. de 2011.

BERNOUX, M.; CONCEIÇÃO, M.; CARVALHO, S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's Soil Carbon Stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 888–896, 2002.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais.** 2008. 89 f. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

BRASIL. Lei nº 7.803, de 18 de setembro de 1989, Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nº 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Casa Civil, Brasília, 1989.

BRASIL. Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências.** Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm>. Acesso em 03 nov. de 2011.

BRASIL. Resolução do CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002, Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2002.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v.35, p.881-902, 1989.

BRUCE, J. P. ; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. ; PAUSTIAN, K. Carbon sequestration in soils. **Journal Soil, Water and Conservation**, v.54, p.382-389, 1999.

CASTRO, P. S., VALENTE, O. F., COELHO, D. T.; RAMALHO, R. S. **Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG.** Revista *Árvore*. v.7, p.76-89. 1983.

FEREZ, A. P. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre as taxas iniciais de sequestro de carbono em plantios de restauração da Mata Atlântica.** 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Manuais técnicos em geociências número 1. Rio de Janeiro: IBGE. 1992. 92p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: the physical basis**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 28 nov. de 2011.

LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, Usos e Funções. *Ambiência*. **Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 1. n.1. p.125 – 139, 2005.

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, São Paulo, 2006.

PAIXÃO, F. A. **Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de alternativas de uso de um povoamento de eucalipto**. 2004, 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

PORTES, R. C.; FERNANDES FILHO, E. I.; FARIA, A. L. L.; BARBOSA, A. W. **Espacialização das restrições ambientais como subsídio ao plano de desenvolvimento físico e ambiental do campus da Universidade Federal de Viçosa – Viçosa**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (Anais), 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VIÇOSA. **Do café à cidade polo educacional**. Disponível em:<<http://www.vicosamg.gov.br>>. Acesso em: 3 de dez. 2011.

PREISKORN, G. M. **Composição Florística, estrutura e quantificação do estoque de carbono em florestas restauradas com idades diferentes**. 2011, 129f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2011.

REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; VALENTE, O. F.; FERNANDES, H. A. C. **Sequestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo**. In: Seminário emissão x sequestro de CO₂ – Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil (Anais). Rio de Janeiro, 1994, p.155-195.

RIVES, K. **Universidades americanas correm para cortar emissões de gases de efeito estufa**. Missão diplomática dos Estados Unidos – Meio ambiente. Disponível em:<<http://www.portuguese.brazil.usembassy.gov/pt/estufa.html>>. Acesso: 10 dez. de 2011.

SALOMÃO, R. P. **Estimativas de biomassa e avaliação do estoque de carbono da vegetação de florestas primárias e secundárias de diversas idades (capoeiras) na Amazônia Oriental, município de Peixe-boi, Pará**. 1994, 53f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Pará, 1994.

SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. 2007, 152f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – INPA/UFAM. 2007a.

SILVA, R. F. **Projeção do estoque de carbono e análise da geração de créditos em povoamentos de eucalipto**. 2007, 53f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. 2007b.

SMITH, P. How long before a change in soil carbon organic can be detected? **Global Change Biology**, Oxford, v.10, p.1878-1883, 2004.

UNITED NATIONS. **Report of the United Nations Conference on Environment and Development: annex 1: Rio Declaration on Environment and Development**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>>. Acesso em: 4 dez. 2011.

2.CONCLUSÕES GERAIS

- A arborização do *campus*-sede da UFV caracteriza-se por apresentar grande riqueza de espécies, mas pouca heterogeneidade, pois a maior parte dos indivíduos se concentra em poucas espécies, com destaque para *Licania tomentosa* (oiti) e *Michelia champaca* (magnólia).
- As estimativas de fixação de carbono pela arborização obtidas neste estudo podem ser usadas como referência para o estabelecimento de projetos de neutralização de carbono em ambientes verdes urbanos, como contribuição à mitigação das mudanças climáticas e geração de serviços ambientais à população.
- A elaboração do inventário de GEE deve se tornar uma prática comum pela UFV, permitindo que a universidade conheça suas emissões e estabeleça estratégias e metas para redução, contribuindo assim, para atenuação do aquecimento global. Além disso, possibilitará que a administração tenha um conhecimento melhor da eficiência de seus processos e atividades.
- A compensação de carbono a partir da arborização é uma prática interessante de atenuação do efeito estufa, mas não se resume a ela mesma. Assim, é importante que esta esteja interligada com outras ações de compensação, como a conservação florestal e plantios de recomposição vegetal em áreas degradadas.
- Concomitantemente à prática de compensação, devem-se adotar metas próprias de redução das emissões de GEE, a fim de contribuir para o balanço das emissões e remoções de GEE da UFV, para o cumprimento das metas nacionais de redução de GEE e para a minimização das mudanças do clima.

ANEXOS

Quadro 6 – Fatores de emissão médios mensais para CO₂ gerado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN)

| <i>Mês/ano</i> | <i>Out/2010</i> | <i>Nov/2010</i> | <i>Dez/2010</i> | <i>Jan/2011</i> | <i>Fev/2011</i> | <i>Mar/2011</i> | <i>Abr/2011</i> | <i>Mai/2011</i> | <i>Jun/2011</i> | <i>Jul/2011</i> | <i>Ago/2011</i> | <i>Set/2011</i> | <i>Out/2011</i> |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>FE</i> <i>(tCO₂e./</i> <i>MWh</i> | 0,0817 | 0,0869 | 0,0532 | 0,0262 | 0,0288 | 0,0208 | 0,0198 | 0,0270 | 0,0341 | 0,0308 | 0,0301 | 0,0301* | 0,0301* |

Fonte: MCTI, 2011.

* Quando foi realizado este estudo ainda não havia sido calculado o fator de emissão médio mensal para os meses de setembro e outubro de 2011. Desta maneira, utilizou-se o mesmo valor referente a agosto.

Quadro 7 – Fatores de emissão de GEE utilizados para os cálculos da combustão fóssil e de biomassa

| <i>Combustíveis fósseis</i> | <i>Unidades</i> | <i>CO₂ (Kg/unidade)</i> | <i>CH₄ (Kg/unidade)*</i> | <i>N₂O (Kg/unidade)*</i> |
|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Gasolina automotiva | litros | 2,327 | - | - |
| Óleo diesel | litros | 2,681 | - | - |
| GLP | litros | 1,530 | - | - |
| Madeira ou resíduos de madeira | toneladas | 1.747,200 | 4,68 | 6,24. 10 ⁻² |
| Etanol (E100) | litros | 1,469 | - | - |
| Biodiesel (B100) | litros | 2,499 | - | - |

Fonte: IPCC (2006).

* Não foram contabilizadas as emissões de CH₄ e de N₂O devido às incertezas inerentes a esses cálculos, e pela inexistência de fatores de emissão precisos para N₂O e CH₄.

Quadro 8 – Fatores para cálculo de emissão de CH₄ pela fermentação entérica e manejo dos dejetos, por categoria de animal

| <i>Categoria animal</i> | | <i>Fermentação entérica (KgCH₄.animal⁻¹.ano⁻¹)</i> | | <i>Manejo de dejetos</i> | | |
|-------------------------|---------------------|---|-------------------|--|---|----------------|
| | | <i>Default</i> | <i>MCT (2006)</i> | <i>VS (Kg matéria seca.animal⁻¹.dia⁻¹)</i> | <i>B₀ (KgCH₄.VS excretado⁻¹)</i> | <i>MCF (%)</i> |
| <i>Gado de corte</i> | <i>Fêmea adulta</i> | 58 | 67 | 2,7 | 0,17 | 1,5 |
| | <i>Macho adulto</i> | 57 | 64 | 2,6 | 0,18 | 1,5 |
| | <i>Jovem</i> | 42 | 48 | 1,5 | 0,1 | 1,5 |
| <i>Gado de leite</i> | | 57 | 65 | 2,9 | 0,13 | 1,5 |
| <i>Suíno</i> | | 55 | - | 0,45 | 0,5 | 0,79 |
| <i>Caprino</i> | | 18 | - | 0,3 | 0,18 | 1,5 |
| <i>Equino</i> | | 10 | - | 2,13 | 0,3 | 1,5 |
| <i>Aves</i> | | - | - | 0,02 | 0,24 | 1,5 |

Fonte: IPCC (2006) e MCT (2006)

Quadro 9 – Fatores para cálculo da emissão direta e indireta de N₂O por disposição dos resíduos dos animais em pastagem

| <i>Categoria animal</i> | <i>Emissão de N₂O direta</i> | | <i>Emissão de N₂O indireta</i> | |
|-------------------------|--|--|---|--|
| | | | <i>Deposição atmosférica</i> | <i>Lixiviação/Escoamento superficial</i> |
| | <i>Quantidade de N excretada (Kg.animal⁻¹.ano⁻¹)</i> | <i>FE (KgN₂O-N/KgN excretado)</i> | <i>FE (KgN₂O /KgNH₃/KgNO_x emitido)</i> | <i>FE (KgN₂O/KgNH₃/KgNO_x lixiviado)</i> |
| <i>Gado de corte</i> | 40 | 0,02 | 0,01 | 0,025 |
| <i>Gado de leite</i> | 70 | 0,02 | 0,01 | 0,025 |
| <i>Aves</i> | 0,6 | 0,02 | 0,01 | 0,025 |
| <i>Caprino</i> | 12 | 0,02 | 0,01 | 0,025 |
| <i>Equino</i> | 40 | 0,02 | 0,01 | 0,025 |

Fonte: IPCC (2006)