

ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E SEQUESTRO DE CARBONO EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Sergio Esper Saliba

Resumo

Nas últimas décadas, as alterações climáticas consequentes do aumento da concentração dos gases do efeito estufa (GEEs), em especial o dióxido de carbono (CO₂), têm recebido atenção por parte de vários setores da sociedade. A elaboração de um inventário é fundamental para que uma organização possa determinar suas fontes de emissão de GEEs e as respectivas quantidades de gases lançados na atmosfera durante seus processos. A Fundação Parque Zoológico de São Paulo, buscando um aperfeiçoamento de seu sistema de gestão ambiental, reconhece a necessidade de mensurar suas emissões. Esse trabalho teve como objetivo estimar a quantidade de gases do efeito estufa lançadas em um sistema de produção agrícola, no caso a Fazenda do Zoológico de São Paulo, através da identificação das fontes, desenvolvimento de uma planilha de cálculo para quantificação e elaboração de um inventário, bem como avaliar sua neutralização por meio do sequestro de carbono em suas áreas agrícolas e florestais. Os cálculos para estimar as emissões de GEEs foram baseados na metodologia do GHG Protocol da agricultura, sendo identificadas 19 fontes emissoras de GEEs, classificadas em fontes diretas e indiretas. Após 12 meses de medições, pode-se concluir que a Fazenda do Zoo, durante o ano agrícola 2013-2014, neutralizou a totalidade das emissões de gases do efeito estufa proveniente de suas atividades. Com os resultados obtidos tornou-se possível estabelecer novos procedimentos visando a mitigação e compensação de tais lançamentos.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas, agricultura, inventário, zoológico.

Abstract

In recent decades, the resulting climate change increasing the concentration of greenhouse gases (GHGs), especially carbon dioxide (CO₂), have received attention from various sectors of society. The preparation of an inventory is critical for an organization to determine its GHG emission sources and their gas amounts emitted into the atmosphere during its processes. The Fundação Parque Zoológico de São Paulo, seeking an improvement of its environmental management system recognizes the need to measure their emissions. This study aimed to estimate the amount of greenhouse gases released in an agricultural production system in case the Sao Paulo Zoo Farm, through the identification of sources, developing a spreadsheet for quantification and making an inventory and how to assess their neutralization with carbon sequestration in their agricultural and forest areas. The calculations for estimating GHG emissions were based on the GHG Protocol methodology of agriculture, identified 19 emission sources of GHGs, classified into direct and indirect sources. After 12 months of measurements, it can be concluded that the São Paulo Zoo Farm during the agricultural year 2013-2014, neutralized all of the greenhouse gas emissions from their activities. With the results made it possible to establish new procedures for mitigation and compensation of such releases.

Keywords: Climate change, agriculture, inventory, zoo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo geral.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
2. JUSTIFICATIVA.....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
3.1. Mudanças Climáticas.....	5
3.2. A mudança do clima e a agricultura.....	7
3.3. A sustentabilidade na agricultura.....	9
3.4. Inventário de emissões de gases do efeito estufa.....	11
3.5. Compensações.....	12
4. METODOLOGIA.....	15
4.1. Caracterização da Fazenda do Zoo.....	15
4.2. Inventário das emissões de GEEs.....	16
4.2.1. Período.....	17
4.2.2. Limites do inventário.....	17
4.2.3. Escopos do inventário.....	17
4.2.4. Fatores de emissão.....	19
4.2.5. Fontes neutras.....	19
4.2.6. Coleta de dados.....	19
4.2.7. Cálculo de conversão de GEEs em CO _{2eq}	19
4.2.8. Cálculo das emissões de GEEs.....	20
4.2.8.1. Escopo 1.....	20
4.2.8.2. Escopo 2.....	30
4.2.8.3. Escopo 3.....	31
4.3. Estimativa do sequestro de carbono em áreas florestais e agrícolas.....	34
4.3.1. Áreas florestais.....	34
4.3.2. Áreas agrícolas.....	38
5. RESULTADOS.....	40
5.1. Inventário das emissões.....	40
5.2. Estimativa do sequestro de carbono em áreas florestais e agrícolas.....	41
6. DISCUSSÃO.....	42

7. CONCLUSÕES.....	52
8. OPORTUNIDADES DE MELHORIA.....	53
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Fontes de emissão de GEEs identificadas e separadas por escopos.....	18
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. PAG dos gases contemplados no inventário.....	20
Tabela 2. Consumo de energia elétrica em kW/h e fatores de emissão para energia elétrica.....	31
Tabela 3. Estimativa do sequestro de carbono da biomassa em áreas florestais (tCO ₂ /ha).....	38
Tabela 4. Sumarização das emissões de GEEs convertidas em CO ₂ e dos escopos 1, 2 e 3.....	40
Tabela 5. Sumarização das estimativas de sequestro de Carbono convertidas em CO _{2eq} /ano.....	41
Tabela 6. Comparação da % de emissões de carbono por escopo entre 3 empresas de atividades diferentes.....	43
Tabela 7. Participação percentual de gases de efeito estufa emitido pela Fazenda do Zoo no ano agrícola 2013-2014.....	47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Consumo de combustível fóssil em fonte fixa.....	21
Equação 2. Consumo de combustível fóssil em fontes móveis.....	21
Equação 3. Aplicação de fertilizantes orgânicos.....	22
Equação 4. Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos.....	23
Equação 5. Aplicação de calcário.....	23
Equação 6. Aplicação de uréia.....	24
Equação 7. Manejo de dejetos de animais (N ₂ O).....	24
Equação 8. Manejo de dejetos de animais (CH ₄).....	25
Equação 9. Fermentação entérica.....	25
Equação 10. Emissão de N ₂ O proveniente da deposição atmosférica.....	26
Equação 11. Emissão de N ₂ O proveniente da lixiviação.....	27
Equação 12. Mudança de uso do solo e sistemas de manejo.....	28
Equação 13. Mudança de carbono no solo.....	29
Equação 14. Resíduos de colheitas.....	29
Equação 15. Energia elétrica.....	30
Equação 16. Transporte terceirizado à Fazenda do Zoo.....	32
Equação 17. Viagens de servidores e transporte de materiais.....	32
Equação 18. Aplicação de defensivos agrícolas.....	33
Equação 19. Resíduos não recicláveis.....	34
Equação 20. Resíduos não recicláveis (CH ₄).....	34
Equação 21. Transformação de CO ₂ em C.....	36
Equação 22. Biomassa acima do solo.....	36
Equação 23. Biomassa subterrânea.....	37
Equação 24. Alteração de plantio convencional para plantio direto.....	39

LISTA DE ANEXOS

Anexo I. Balanço da emissão de GEEs e sequestro de carbono da Fazenda do Zoo – ano agrícola 2013-2014.....	61
---	----

1. INTRODUÇÃO

Por muito tempo a poluição do ar não foi levada em consideração por parte da sociedade, sendo tratada como um assunto pouco prioritário. Entretanto, nas últimas décadas, nos deparamos com as consequências causadas pelo aumento significativo das emissões de gases na atmosfera, o que vem gerando mudanças climáticas significativas, principalmente em relação à temperatura média da Terra (FLIZIKOWSKI, 2012). O efeito estufa é considerado um fenômeno natural, porém se torna um problema quando ocorre um aumento na concentração de gás metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e, em especial, o dióxido de carbono (CO_2), que desestabilizam a troca natural de calor, levando ao aquecimento global.

A maior parte do CO_2 emitido pelo planeta é proveniente da expansão dos setores industrial, agrícola e de transporte, gerando alto consumo de energia pela queima de combustíveis fósseis e pelo desmatamento de áreas (FLIZIKOWSKI, 2012). Ao longo dos anos, com o crescimento considerável da agricultura, estima-se que uma parte significativa das emissões nacionais seja proveniente desse setor. Pelo motivo da alta estimativa, metodologias específicas para a realidade brasileira vêm sendo desenvolvidas através da elaboração de protocolos para contabilização dos lançamentos de gases do efeito estufa (GEEs) provenientes das atividades agropecuárias. Apesar de tais esforços, ainda são poucas as pesquisas que propõem medidas de neutralização.

Diante das consequências causadas pelo aumento significativo das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera, a todo o momento são debatidas formas de mitigação visando sua eliminação ou minimização. Para tanto é fundamental a utilização de tecnologias agrícolas de mínimo impacto e ambientalmente corretas no processo de produção (MAALOUF, 1993).

Simultaneamente, com o objetivo de acelerar a neutralização, medidas compensatórias podem ser adotadas. A restauração das florestas, além de proteger os recursos naturais e restabelecer a biodiversidade, tem como objetivo seqüestrar o carbono da atmosfera, colaborando para a redução da concentração de gases do efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global (SANQUETA & BALBINOT, 2004).

Com a quantificação do carbono gerado pelas diversas fontes de emissão torna-se possível propor estratégias para redução de GEEs – gases do efeito estufa e assim estabelecer uma melhoria nos processos, proporcionando ganhos ambientais para a organização.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Esse trabalho teve como objetivo geral estimar a quantidade de gases do efeito estufa (GEEs) emitida, especialmente o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) provenientes das atividades da Fazenda do Zoológico de São Paulo, pertencente à Fundação Parque Zoológico de São Paulo, bem como verificar a sua neutralização através do sequestro de carbono em suas áreas agrícolas e florestais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Elaboração de um inventário para verificar a capacidade de sistemas agrícolas em neutralizar as emissões dos GEEs.
- Identificação das principais fontes emissoras dos GEEs e sumidouros de carbono;
- Desenvolver uma planilha de cálculo para quantificação de emissões de GEEs e estoque de carbono;
- Verificar a importância da restauração florestal e conservação das matas existentes para o aumento do estoque de carbono através da quantificação da biomassa;
- Propor medidas para redução dos GEEs, através da implementação de oportunidades de melhorias no sistema de produção da Fazenda do Zoo.

2. JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas nos deparamos com as consequências causadas pelo aumento significativo das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera. A todo o momento são debatidas formas de mitigação das mudanças climáticas através de ações a médio e longo prazo. No entanto, mediante a situação atual, se faz necessário que as discussões dêem lugar às ações práticas e imediatas. Atualmente muitas são as pesquisas envolvendo a estimativa de emissão de carbono em diversas atividades, porém poucas propõem medidas de neutralização.

É neste contexto que este estudo de caso se justificou, pois mostrou que é possível estabelecer, através de uma ampla visão das fontes de emissões, readaptações no manejo operacional de um sistema de produção agrícola, visando a redução da emissão de gases provenientes de suas atividades, bem como compensá-las por meio da aplicação de técnicas de recomposição florestal, a fim de intensificar o sequestro do carbono da atmosfera, trazendo ganhos ambientais através da preservação dos recursos naturais e da biodiversidade.

Além das questões relacionadas à economia e o meio ambiente, não se pode deixar de lado a questão social, outro pilar da sustentabilidade, no que se refere à relação com a comunidade do entorno, a ser beneficiada diretamente com a redução de impactos ambientais provenientes das novas tecnologias, e pela proximidade a áreas verdes a serem recompostas, tornando assim o ambiente da região mais salubre, estabelecendo-se assim uma relação de reciprocidade com a mesma. Reciprocidade é sinônimo de solidariedade (dependência mútua, fato de ser solidário) ou de mutualidade (SABOURIN, 2011).

O Estado de São Paulo está fortemente comprometido com as políticas ambientais, através da Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC), instituída pela Lei Estadual nº 13.798 de 2009, assumindo compromissos frente aos desafios das mudanças climáticas e estabelecendo metas de redução de 20% (vinte por cento) das emissões de dióxido de carbono (CO₂), relativas a 2005, em 2020.

É fundamental que instituições como a Fundação Parque Zoológico de São Paulo, reconhecida internacionalmente pelo seu trabalho na manutenção de animais em cativeiro visando a conservação, e pela sua preocupação com questões ambientais; participe ativamente dos esforços contra o agravamento do efeito estufa

e mudanças climáticas, os quais influenciam diretamente na existência e/ou manutenção da biodiversidade no planeta.

Dentro da sua finalidade principal, a produção agrícola, a Fazenda do Zoo produz, desde 1982, aproximadamente 1.200 toneladas anuais de cerca de 20 tipos diferentes de produtos, entre hortaliças, frutas, grãos, raízes e forrageiras, utilizados na alimentação dos mais de 3.500 animais da Fundação Parque Zoológico de São Paulo. Grande parte dos materiais utilizados na reforma e ornamentação dos recintos, como bambus, sapés, mudas, fardos e madeiras, também são originários do local.

A fim de assegurar a qualidade de seus alimentos e a conservação de suas áreas, a fazenda investe em uma produção mais limpa, através da adoção de práticas sustentáveis como plantio direto, uso de variedades resistentes, rotação de culturas, descanso de áreas, adubação verde, cobertura vegetal morta, além da adubação com o composto orgânico produzido pelo Zoo. Tais procedimentos proporcionam melhorias ambientais imediatas, como a diminuição de processos erosivos, uma melhor utilização de insumos e um menor volume de resíduos.

Assim como na produção, cuidados especiais são tomados na armazenagem, embalagem e transporte dos produtos. A padronização de todos os processos garante aos alimentos um alto valor nutritivo e uma excelente qualidade biológica. Concluída a cadeia produtiva, os alimentos seguem para consumo contendo importantes informações sobre suas procedências.

A Fazenda do Zoo trabalha também na reprodução e conservação de animais selvagens. Devido ao fato de o Zoológico de São Paulo estar localizado dentro de uma mancha de Mata Atlântica da Capital, portanto, sem condições de se expandir para a construção de novos recintos, o local é a principal alternativa da Fundação Parque Zoológico de São Paulo para desenvolver tais atividades.

Dentro do seu “Sistema de Gestão Ambiental”, procedimentos de controle para todos os impactos ambientais gerados nas atividades são mantidos. A melhoria contínua do desempenho ambiental da Fazenda do Zoo é uma das prioridades. É hoje a única propriedade agrícola pertencente ao Governo do Estado de São Paulo que possui a Certificação ISO 14001.

O presente trabalho proporcionará um aperfeiçoamento em seu Sistema de Gestão Ambiental certificado, ABNT NBR ISO 14001, através da possibilidade de implementação da ISO 14064-1, que estabelece normas para quantificação, monitoramento, verificação e validação das emissões dos gases de efeito estufa (GEE).

O trabalho também vai de encontro aos objetivos propostos dentro do Programa de Pós Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, da Universidade Federal de São Carlos, campus de Sorocaba, considerando a sua relevância social e tecnológica.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Mudanças Climáticas

A complexa questão do aquecimento global surgiu na década de 1980, causando preocupação. Não há dúvida de que a civilização industrial é imprevidente e poluidora, bem como não há como negar que a temperatura do planeta estava mais elevada no fim do que no início do século 20 (BLAINEY, 2008).

É crescente a preocupação mundial com o aumento da concentração de gases na atmosfera, especialmente aqueles que têm a capacidade de reter parcialmente a radiação solar que é refletida pela superfície da terra (AMADO, 2003).

Há algumas décadas, a poluição do ar não era levada a sério por parte da sociedade, sendo tratada como um tema pouco importante. Entretanto, a mudança climática global, proveniente do aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEEs), responsáveis por manter temperatura média na Terra, tem recebido atenção especial (FLIZIKOWSKI, 2012). O aumento de tais gases na atmosfera tem causado alterações no balanço de radiação solar do Planeta, tendendo ao aquecimento da superfície da Terra, causando eventos catastróficos e consequentes impactos econômicos, sociais e ambientais.

O termo “aquecimento global” significa que todo o Planeta Terra está se aquecendo, ou seja, a temperatura atmosférica média de superfície está se elevando ao longo dos anos como consequência do aumento do efeito estufa,

resultante do incremento na concentração atmosférica de alguns GEEs, em especial o CO₂, o CH₄ e o N₂O (CORDEIRO et al., 2012).

Nos últimos 200 anos, por causa dos processos industriais, queima de combustível fóssil, queimadas e desmatamentos, a humanidade jogou na atmosfera uma enorme quantidade de carbono que até então estava armazenada em reservas no subsolo e nos tecidos das plantas. Esse carbono, na forma de gases estufa, tem contribuído para o aquecimento global e conseqüentes alterações no clima da Terra com grandes impactos para os ecossistemas e o próprio homem (INPE, 2011).

O fenômeno conhecido como “efeito estufa” ocorre quando a radiação solar, que chega ao Planeta Terra na forma de ondas curtas, passa pela atmosfera, aquece a superfície terrestre, refletindo de volta para a atmosfera parte dessa radiação na forma de calor, em comprimentos de onda na região do infravermelho. No momento em que esse efeito ocorre, o calor é bloqueado por alguns constituintes químicos gasosos da atmosfera e, dessa forma, intensifica a sua retenção nas camadas mais baixas da atmosfera. Esse fenômeno natural é importante para a manutenção da temperatura, considerada dentro dos limites aceitáveis à vida no Planeta Terra (CORDEIRO et al., 2012).

O efeito estufa é um fenômeno natural indispensável para manter a superfície do planeta aquecida. Sem ele, a Terra seria 18°C (graus Celsius) mais fria em relação à temperatura que permite a sobrevivência das espécies. A Terra é naturalmente protegida por uma camada de gases formada por nitrogênio (78%), oxigênio (21%), vapor d'água (1%), dióxido de carbono (0,04%) e outros gases em menor quantidade, que faz com que o planeta se mantenha aquecido e habitável. Os gases do efeito estufa são capazes de reter o calor do Sol na atmosfera, formando uma “manta” que retém o calor em torno do planeta, impedindo que ele escape e volte para o espaço (BRAZILIAN CARBON BUREAU, 2011).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, conhecido pela sigla em inglês IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), órgão composto por representantes de 130 governos para discutir e promover avaliações regulares sobre a mudança climática, concluiu em 2007 que a temperatura média global teve um aumento de 2°C a 4,5°C; consequência da retenção de calor provida da alta concentração de GEEs – gás metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e em especial o dióxido de carbono (CO₂) (IPCC, 2007).

Diante disso, governos e organizações têm trabalhado para a mitigação das mudanças do clima, através de acordos internacionais, desde a pioneira Conferência de Estocolmo em 1972, ela própria precedida pelo inovador Seminário Founex realizado em 1971, e pela publicação do livro *Only one Earth*. A Convenção-Quadro assinada durante a Cúpula da Terra no Rio, a Eco-92, incentivou a criação do Protocolo de Quioto, assinado posteriormente durante a Conferência das Partes em 1997. Em seguida vieram a Conferência Rio+20 e a Conferência de Johannesburgo em 2002, todas com o objetivo de estabelecer metas de redução de GEEs na atmosfera.

A maior parte do CO₂ é processado por atividades antropogênicas, proveniente da expansão dos setores industrial, agrícola e de transporte, gerando alto consumo de energia pela queima de combustíveis fósseis e pelo desmatamento de áreas para ocupação e uso de solo (FLIZIKOWSKI, 2012).

3.2. A mudança do clima e a agricultura

Atividades humanas, intensificadas a partir da Revolução Industrial ocorrida entre o final dos anos 1700 e início dos anos 1800, e que se prolongam até a atualidade, geram inúmeras fontes de emissão de GEE decorrentes, como: queima de combustíveis fósseis, desmatamento, drenagem de pântanos, fertilizações nitrogenadas ineficientes, queimadas, preparo intensivo do solo etc. Com a intensificação dessas atividades e, conseqüentemente, com o incremento das emissões dos GEE na atmosfera, principalmente o CO₂, detectou-se aumento do aprisionamento de calor no Planeta Terra durante um longo período de tempo (CORDEIRO et al., 2012).

A mudança do clima não é um tema prioritário nos países em desenvolvimento, cujas prioridades referem-se ao atendimento de necessidades urgentes, nas áreas social e econômica, tais como a erradicação da pobreza, a melhoria das condições de saúde, o combate à fome, a garantia de condições dignas de moradia, entre outras. Neste sentido, os países em desenvolvimento, como o Brasil, confrontam-se com padrões do século 21, antes mesmo de superar os problemas do século 19. O Brasil, entretanto, é um país em desenvolvimento que possui uma economia muito complexa e dinâmica. É o quinto país mais populoso e de maior extensão do mundo, oitava economia mundial, grande produtor agrícola e

um dos maiores produtores mundiais de vários produtos manufaturados, incluindo cimento, alumínio, produtos químicos, insumos petroquímicos e petróleo (EMBRAPA, 2006).

A agricultura e a pecuária são atividades econômicas de grande importância no Brasil. Devido à grande extensão de terras agricultáveis e disponíveis para pastagem, o país ocupa também um lugar de destaque no mundo quanto à produção desse setor (MCT,2009).

A agropecuária colabora com mais da metade das emissões de GEEs do Brasil quando consideramos aquelas provenientes das atividades produtivas, somadas ao contínuo desmatamento dos ecossistemas naturais para expansão agrícola (IMAFLOA, 2014).

A grande disponibilidade de terra adequada para atividades agropecuárias, aliada às condições climáticas favoráveis, à abundância de água, ao avanço tecnológico e ao empreendedorismo dos produtores, impulsionou o crescimento dos setores da agricultura e da pecuária, uma das principais alavancas do crescimento econômico brasileiro. Essa expansão provocou a mudança do uso da terra e colocou a agricultura brasileira como um dos responsáveis pela emissão de GEEs, tanto na produção agrícola, com o uso de fertilizantes e manejo das áreas agricultáveis, quanto na pecuária, pelo uso de áreas desmatadas e emissão de CH₄ pelo rebanho bovino (ASSAD et al.,2012).

As emissões diretas do setor agrícola têm se elevado nos últimos anos, notadamente nas economias emergentes, entre elas o Brasil. De acordo com cálculos apresentados em 2009 pelo World Resources Institute (WRI) com base em dados de 2005, 25 países respondem por 72% das emissões globais da agricultura. China e Índia representam 29% de todas as emissões, enquanto Brasil, Estados Unidos e União Européia, 25%. O crescimento contínuo de emissões é considerado um problema na estratégia global de combate às causas do aquecimento global. Por essa razão, a solução para o desafio de mitigar as mudanças climáticas deve ter a agropecuária como parte (MORGAN et al., 2011).

Ainda nas décadas de 1960 e 1970, diversas reuniões ocorreram com o intuito de debater as mudanças climáticas e desenvolver propostas para redução da emissão dos GEEs. Essa redução de emissões de GEEs é uma das metas do Protocolo de Quioto, criado na década de 1990, que determina que os países de economia desenvolvida adotem medidas de redução das emissões, entre 2008 e

2012, para um nível 5,2% inferior ao registrado em 1990, sem, no entanto, fixar metas para os países em desenvolvimento (BRANDÃO et al., 2012).

No caso do Brasil, país sem metas obrigatórias estabelecidas pelo Protocolo de Quioto, segundo a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática na ECO-92 no Rio de Janeiro, Brasil, a agricultura é parte do plano doméstico de ação, a Política Nacional sobre Mudança do Clima, Lei 12.187/2009. Nos compromissos estabelecidos em 2009, pouco antes da Conferência de Copenhague, o setor agrícola é apresentado como o terceiro maior em termos absolutos de redução de emissões, apenas atrás de ações para a redução do desmatamento e para a diminuição do uso de energia derivada de combustíveis fósseis e incremento da eficiência energética (MORGAN et al., 2011).

Os principais GEE contemplados pelo Protocolo de Quioto são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Para implementar o plano na agricultura e na pecuária, o país lançou o Programa Agricultura de Baixo Carbono, cujas as principais ações são recuperação de pastagens, integração lavoura-pecuária, plantio direto e fixação biológica de nitrogênio. (MORGAN et al., 2011).

De acordo com os dados mais recentes sobre as emissões de GEEs, a atividade agropecuária contribuiu com 13,8% do total emitido em 2005 (WRI, 2013).

O impacto ambiental da agricultura em relação aos gases de efeito estufa está se tornando cada vez mais importante e, de acordo com o Relatório Stern (2006), a agricultura representa 14% das emissões de GEEs. Atualmente, conforme os dados do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2009), a agricultura contribui com cerca de 20% do total de GEEs de origem antropogênica (BRANDÃO et al., 2012).

3.3. A sustentabilidade na agricultura

Em vez de atermo-nos à elitista revolução verde, orientada para o alto consumo de insumos, ou seja, baseada no uso maciço de sementes selecionadas, fertilizantes e água, devemos avançar rumo a uma “revolução sempre-verde”, com respeito aos recursos naturais (SACHS, 2012).

É neste contexto que alguns sistemas agrícolas vêm trabalhando, procurando desmistificar a agricultura como um sistema de produção irreversível, severamente impactuante ao meio ambiente. Produtos mais “limpos”, dentre suas vantagens econômicas, ambientais e sociais, pode-se considerar que são mais competitivos, aceitos pela sociedade, inseridos em um mercado crescente e que adotam práticas consideradas sustentáveis, não esgotando o solo, mantendo a oferta de água, reduzindo as aplicações de defensivos agrícolas através de práticas de manejo integrado de pragas e de doenças, dentre tantas outras tecnologias que são desenvolvidas nos últimos 40 anos (ASSAD et al., 2012).

Dentro do Dossiê Sustentabilidade de 2012, Abromovay (2012) em seu artigo Desigualdades e limites deveriam estar no centro da Rio+20, lança a questão: Como reduzir as emissões de um sistema econômico ainda tão dependente dos combustíveis fósseis e, ao mesmo tempo, quem tem o direito de ocupar o espaço carbono remanescente, seja qual for sua definição?

Espaço carbono (cujos limites físicos são estabelecidos em razão de um objetivo ético e político) e orçamento carbono (quanto pode ser emitido e quem tem o direito de fazê-lo) são conceitos decisivos para a governança da transição para uma economia verde, cuja dimensão crucial é contribuir para alterar o metabolismo da organização social contemporânea, por meio do uso cada vez menor de recursos para a obtenção de bens e serviços (ABROMOVAY, 2012).

De acordo com Nascimento (2012), a partir do relatório do IPCC de 2007, a crise ambiental assumiu contornos mais graves com a percepção da responsabilidade antrópica do aquecimento global e a dinâmica de ascensão de um contingente humano mais significativo no mercado de consumo. As propostas do desenvolvimento sustentável, sobretudo da descarbonização e desmaterialização da economia, agora sob a roupagem da economia verde, ganharam força.

Segundo Ceccin e Pacini (2012), a definição de economia verde proposta pelo Pnuma - Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas é a de um sistema econômico dominado por investimento, produção, comercialização, distribuição e consumo, de maneira a respeitar os limites dos ecossistemas, mas também como um sistema que produz bens e serviços que melhoram o ambiente, ou seja, que tenham um impacto ambiental positivo.

Nesse sentido, o meio ambiente não é mais visto como impositor de restrições em uma economia; em vez disso, ele é considerado como uma força que gera novas oportunidades econômicas. Segundo essa lógica, o crescimento da renda e do emprego é impulsionado por investimentos que reduzam as emissões de carbono e a poluição, melhoram a eficiência energética e de recursos e evitam a perda de biodiversidade e serviços ambientais (CECCIN e PACINI, 2012).

O sentido da incomensurabilidade leva a pensar a produção sustentável como um sistema complexo, integrado por processos ecológicos, tecnológicos e culturais de diferentes ordens de materialidade, com diferentes espacialidades, temporalidades e significações, que imprimem diferentes formas de valorização do ambiente (LEFF, 2001).

Propriedades rurais que procuram trabalhar dentro dos princípios da sustentabilidade vêm focando seus esforços para a obtenção de um sistema de produção economicamente viável, ambientalmente adequado e socialmente aceitável (MAALOUF, 1993).

3.4. Inventário de emissões de gases do efeito estufa

O ponto inicial para se desenvolver estratégias de ações que combatam as mudanças climáticas é quantificar as emissões de gases de efeito estufa, assim como identificar suas principais fontes emissoras. Essa quantificação é realizada por meio de inventário de emissões de gases de efeito estufa utilizando metodologias específicas para essa quantificação (FLIZIKOWSKI, 2012).

O World Resources Institute (WRI) tem criado, em parceria com o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), protocolos internacionalmente aceitos para o desenvolvimento de inventários corporativos de gases de efeito estufa (GEE) há mais de 13 anos. Esses padrões, denominados genericamente de GHG Protocol, definem as melhores práticas internacionalmente aceitas para o desenvolvimento de inventários de GEE corporativos, de projetos ou de produtos (WRI, 2013).

Ao longo dos últimos anos, a demanda por diretrizes técnicas específicas para o setor agrícola mundial cresceu consideravelmente, gerados por características intrínsecas deste macro-setor. No contexto brasileiro, as emissões estimadas dos setores agrícolas e de mudanças no uso do solo contribuem,

respectivamente, com 35% e 22% das emissões nacionais. Por estes motivos, o WRI iniciou em 2012 um projeto de 2 anos para criar novos recursos técnicos que fornecerá às empresas e legisladores do Brasil ferramentas para mensurar e gerir de forma mais efetiva emissões agrícolas, o Projeto GHG Protocol Agrícola.

No período compreendido entre 2012 e 2013, o projeto gerou dois recursos técnicos, as Diretrizes Agrícolas Brasileiras e a Ferramenta de Cálculo. Combinados, estes recursos permitem aos produtores, assim como às outras empresas das cadeias de valor da agricultura, pecuária, silvicultura, entre outras, incluir o reporte e a mitigação de emissões de GEE em suas estratégias de produção e planejamento anual (WRI, 2013).

Especificamente, eles permitirão que as empresas identifiquem oportunidades de redução de emissões de GEE, rastreiem progresso em direção de metas de redução, comuniquem os resultados aos investidores e aos consumidores finais, e respondam às demandas nacionais e internacionais por produtos menos intensivos em carbono (WRI,2013).

O balanço de carbono do setor agropecuário, ao mesmo tempo que emite, captura carbono dentro do sistema produtivo e ao longo da cadeia. Certamente o desenvolvimento tecnológico do setor deverá focar em um balanço positivo, onde a agropecuária poderia deixar de ser o maior emissor de GEE do País e ser o maior fixador de carbono no solo. O Brasil ainda tem muito trabalho pela frente para reverter esse quadro e transformar o problema em oportunidade. A meta é passar de emissor para captador de carbono e assim compensar outros setores que terão limitações tecnológicas para crescerem de forma limpa (IMAFLOA, 2014).

3.5. Compensações

De acordo com Lacerda, 2009, em países tropicais historicamente a floresta vem sendo substituída pelas culturas agrícolas e pastagens. Esta situação pode mudar se serviços adicionais forem considerados, principalmente o seqüestro de carbono. Além dos benefícios da conservação e restauração das florestas ciliares para a melhoria da quantidade e qualidade da água produzida em pequenas bacias hidrográficas, outra função que acrescenta valor a estes ecossistemas é a remoção ou seqüestro de gases do efeito estufa, em especial o CO₂ oriundo da queima de

combustíveis fósseis, da atmosfera, que contribui para a mitigação dos efeitos do aquecimento global.

Assim, a avaliação dos estoques de carbono e também das mudanças nestes reservatórios torna-se necessária. Sabe-se que o cálculo da biomassa em uma floresta é um instrumento essencial ao conhecimento dos seus produtos e também se tornou relevante à questões ligadas às mudanças climáticas (LACERDA, 2009).

As duas principais alternativas discutidas para enfrentar este problema ambiental são: o controle das emissões de gases, que tem forte resistência por parte dos países emissores, e a adoção de medidas compensatórias. Estas últimas compreendem, por exemplo, a preservação de florestas nativas e o reflorestamento, que são responsáveis pela retirada de grande quantidade de CO₂ da atmosfera, através do processo de fotossíntese. O solo também pode ser uma importante opção de dreno do carbono da atmosfera e armazenamento temporário na forma de matéria orgânica (AMADO, 2003).

A agricultura também pode potencialmente atuar como um dreno de CO₂ da atmosfera, contribuindo significativamente para mitigar o efeito estufa. As principais estratégias para sequestrar carbono em áreas agrícolas são: a adoção de preparos conservacionistas, caracterizados pela redução na intensidade de mobilização e manutenção de resíduos (palha) na superfície do solo, o melhor manejo das culturas, caracterizado por fertilização equilibrada, controle de pragas, densidade de semeadura, incremento da atividade biológica e outras práticas agronômicas que conduzem à obtenção de elevados rendimentos.

As florestas absorvem CO₂ da atmosfera através do processo de fotossíntese durante seu crescimento, armazenando grandes quantidades de carbono na biomassa de folhas, galhos, troncos e raízes, e liberando oxigênio de volta na atmosfera (WALKER, 2011).

Grande parte da cobertura vegetal do Estado de São Paulo está degradada e ocupada pela agricultura e pecuária. A vegetação nativa ainda existente está confinada a Unidades de Conservação (UCs), áreas de alto relevo ou de difícil acesso (PÉRICO et al, 2005). Antigas pastagens, degradadas pelo constante uso, estão sendo recuperadas, tanto através do processo de regeneração natural, como pelo reflorestamento com espécies nativas da região.

A maior parte dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, por exemplo, encontra-se na forma de fragmentos isolados, pouco conhecidos e desprotegidos. São raros os fragmentos florestais em bom estado de conservação. A fragmentação introduz uma série de mudanças nas populações de plantas e animais, afetando a estrutura e a dinâmica dos ecossistemas (VALERI & SENÔ, 2003). Corredores ecológicos, localizados estrategicamente, estabelecem a conectividade com fragmentos remanescentes. Tais áreas constituem-se em um importante refúgio da vida silvestre, principalmente de aves migratórias.

A restauração das florestas, além de proteger os recursos naturais e restabelecer a biodiversidade, tem como objetivo seqüestrar o carbono da atmosfera, colaborando para a redução da concentração de gases do efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global. As árvores em fase de crescimento demandam de uma grande quantidade de carbono para se desenvolver, desempenhando papel significativo no ciclo do carbono devido a sua capacidade de fixação (SANQUETA & BALBINOT, 2004).

Além da restauração, a adoção da técnica de plantio direto aparece como grande alternativa para seqüestro de carbono em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais. O solo é o principal reservatório temporário de carbono no ecossistema (AMADO, 2002).

A compensação e neutralização de GEEs são formas de evitar, reduzir, equilibrar ou sequestrar as emissões desses gases. Vários setores da sociedade têm adotado essa prática, por ser uma alternativa econômica e ambientalmente viável, incluindo governos, indústrias e sociedade civil. A cidade de São Paulo, por exemplo, desde 2007, obriga neutralizar o carbono gerado em eventos realizados em parque municipais, por meio do plantio de árvores e reflorestamento (MEDEIROS & DANIEL, 2011).

No intuito não só de combater a mudança no clima, mas também de contribuir para a conservação do meio ambiente, muitas organizações têm realizado neutralização e compensação de carbono, através de técnicas de: recuperação de áreas degradadas, aumento da cobertura vegetal nos fragmentos florestais, enriquecimento de florestas empobrecidas e conexões dos fragmentos por meio de corredores ecológicos (FLIZIKOWSKI, 2012).

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização da Fazenda do Zoo

A Fazenda da Fundação Parque Zoológico de São Paulo, ou simplesmente Fazenda do Zoo, está localizada em Araçoiaba da Serra, SP, fazendo divisa com os municípios de Sorocaba e Salto de Pirapora, distante cerca de 120 Km da Capital, sendo responsável pela produção de grande parte da alimentação dos animais do Parque Zoológico e Zoo Safári, além da criação de animais selvagens para reprodução e por programas de educação ambiental. A fazenda apresenta uma área total de 574 hectares, formada por lavouras, áreas de preservação permanente e regeneração natural, nascentes e reflorestamentos com espécies nativas e exóticas. Geograficamente, a fazenda está a $23^{\circ} 34' 33''$ de latitude sul e $47^{\circ} 32' 16''$ de longitude WGr, em uma altitude de 650 metros, estando totalmente inserida dentro da Depressão Periférica, na Zona do Médio Tietê.



Figura 5 – Croqui de localização da Fazenda do Zoo. Fonte: Google Earth, 2008.

A Fazenda do Zoo está localizada próxima ao Trópico de Capricórnio, portanto em uma zona de transição de clima tropical para temperado. Segundo Köeppen (1948), a área apresenta condições climatológicas tipo Cwa, com um período seco durante os meses mais frios do ano (maio a setembro) e um período chuvoso durante os meses mais quentes (outubro a abril). A precipitação média anual varia em torno de 1.300 mm, com temperatura média de 19°C durante o inverno e 25°C durante o verão e umidade relativa do ar de 70 %. Há a possibilidade da ocorrência de geadas durante os meses de junho, julho e agosto.

O relevo é suave, com declividade média de 5 %, o que torna a área totalmente mecanizável. Os principais compartimentos de solo, conforme EMBRAPA (2012), são Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelhos. A matriz vegetacional da Fazenda do Zoo é de uma Floresta Estacional Semidecidual. A propriedade, em relação ao seu tamanho, é escassa em águas superficiais.

4.2. Inventário das emissões de GEEs

O inventário das emissões de GEEs – gases do efeito estufa é a primeira ação para que uma organização possa estabelecer estratégias de redução dos gases e de combate às mudanças climáticas. Trata-se de um levantamento para se determinar as fontes de emissões e as respectivas quantidades de gases lançados na atmosfera, bem como para estimar a quantidade de carbono sequestrado em áreas florestais e agrícolas. Com os resultados obtidos, torna-se possível estabelecer a neutralização dos gases, propor oportunidades de redução das emissões e implementação de projetos de compensação ambiental, por meio do plantio de mudas.

A metodologia utilizada para elaboração do inventário foi com base no Protocolo de Gases do Efeito Estufa conhecido como *Greenhouse Gás Protocol Initiative (GHG Protocol)*, e pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*; desenvolvida nos Estados Unidos pelo *World Resources Institute (WRI)*, como ferramenta para quantificar e gerenciar as emissões de GEEs, considerada atualmente como a mais utilizada no mundo para a realização de inventários. Em 2008 foi implantada no Brasil de forma mais adaptada ao contexto nacional, aperfeiçoando e desenvolvendo novas ferramentas para a quantificação das emissões de acordo com a realidade brasileira (GVCES, 2013). Dentro do projeto

GHG Protocol Agrícola, foram elaboradas, entre 2012 e 2013, as Diretrizes Agrícolas Brasileiras (DAB) e a Ferramenta de Cálculo, sendo gerado o relatório Metodologia do GHG Protocol da agricultura, base fundamental deste estudo.

Para facilitar os trabalhos, foi desenvolvida uma planilha digital no software Microsoft Office Excel 2007, na qual linhas identificam as fontes de emissão e suas respectivas quantidades emitidas, enquanto que as colunas dividem os gases do efeito estufa em dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), todos convertidos em dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$). O sistema Google Earth foi utilizado para mensurar áreas agrícolas e florestais.

4.2.1. Período

Para inventariar as emissões de GEEs, é fundamental estabelecer um período específico para análise, cálculo, e posterior comparação das emissões. Foi definido o período de julho de 2013 a junho de 2014, que se refere ao ano agrícola, que contempla todas as etapas de uma produção agrícola, ou seja, do plantio à colheita.

4.2.2. Limites do inventário

Para a identificação das fontes de emissões dos GEEs, é importante considerar o escopo em que a organização atua. Na Fazenda do Zoo, as fontes de emissão contempladas no inventário foram provenientes de atividades agrícolas, florestais, administrativas e de criações de animais, tanto domésticos, como selvagens.

4.2.3. Escopos do inventário

As fontes de emissões de GEEs do inventário foram divididas em diretas e indiretas, ou seja, emissões que pertencem ou são controladas pela instituição, e emissões que pertencem ou são controladas por outra organização, mas são resultantes das atividades da instituição, respectivamente. A metodologia do *GHG Protocol* define três “escopos” para fins de registro (Quadro 1).

- **Escopo 1:** emissões diretas de GEEs, proveniente de fontes que pertencem ou são controladas pela organização.
- **Escopo 2:** são emissões indiretas, proveniente de fontes que não pertencem ou não são controladas porém, consumidas pela instituição.
- **Escopo 3:** são as outras emissões indiretas não relatadas no escopo 2. Esta categoria é opcional, pois, inclui emissões consequentes das atividades da instituição, porém, ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas por ela.

Quadro 1. Fontes de emissão de GEEs identificadas e separadas por escopos.

ESCOPO 1
Consumo de combustível fóssil em fonte fixa
Consumo de combustível fóssil em fonte móvel
Aplicação de fertilizantes orgânicos
Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos
Aplicação de calcário
Aplicação de uréia
Manejo de dejetos animais
Fermentação entérica
Emissão de N ₂ O proveniente da deposição atmosférica
Emissão de N ₂ O proveniente de lixiviação ou escoamento superficial
Mudança de uso do solo e sistemas de manejo
Mudança de carbono no solo
Resíduos de colheitas
ESCOPO 2
Energia elétrica
ESCOPO 3
Transporte terceirizado à Fazenda do Zoo
Viagens para transporte de servidores e materiais da FPZSP à Fazenda do Zoo
Aplicação de defensivos agrícolas
Resíduos não recicláveis

4.2.4. Fatores de emissão

O fator de emissão é o valor utilizado para determinar a quantidade emitida por uma dada fonte de emissão em função de algum parâmetro da mesma, permitindo uma equiparação entre a relevância de cada gás emitido frente a cada uma das fontes de emissão levantadas.

4.2.5. Fontes neutras

As emissões de CO₂ oriundas da queima de biomassa foram consideradas neutras. Tanto o GHG Protocol, quanto o IPCC, recomendam que as emissões da queima da biomassa sejam relatadas e que a emissão seja considerada neutra, pois são geradas através de um ciclo biológico e não um ciclo geológico, como no caso do CO₂ de origem fóssil. Para os combustíveis fósseis com adição de biocombustíveis adotaram-se os valores indicados pela atual legislação nacional, que define a adição de 5% de biodiesel ao óleo diesel.

4.2.6. Coleta de dados

Para a realização dos cálculos das emissões de GEEs, foram coletados dados das atividades delimitadas pelos escopos durante o período em estudo, através de levantamento de relatórios elaborados pela Divisão de Produção Rural, unidade administrativa da Fazenda do Zoo.

4.2.7. Cálculo de conversão de GEEs em CO_{2eq}

Em cada fonte foi calculada a emissão dos gases de efeito estufa, ou seja, além do dióxido de carbono, outros gases também foram calculados, como o metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

O cálculo para conversão de tais gases em dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) é feito através do potencial de aquecimento global (PAG) de cada gás, que é uma medida que simplifica o quanto um determinado tipo de GEE contribui para o aquecimento global em relação à quantidade necessária de CO₂ que

causa um impacto similar. Para o cálculo do CO₂ foi adotada a conversão GWP (Global Warming Potential), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. PAG dos gases contemplados no inventário

GEEs	GWP-100
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	25
Óxido Nitroso (N ₂ O)	298

Fonte: WRI - Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre o Clima (UNFCCC)

As intensidades do CH₄ e do N₂O são 25 e 298 vezes mais fortes que a do CO₂ no agravamento do efeito estufa, respectivamente.

4.2.8. Cálculo das emissões de GEEs

A escolha das equações para calcular as emissões foi feita de acordo com a disponibilidade de dados, e de fatores de emissão. Os fatores são informados pelo GHG Protocol e IPCC.

4.2.8.1. Escopo 1

4.2.8.1.1. Consumo de combustível fóssil em fonte fixa

A equação 1 calcula as emissões de dióxido de carbono (CO₂) proveniente do consumo de óleo diesel em fonte fixa, ou seja, pela bomba de irrigação, utilizada em uma área de 1 ha onde são cultivadas hortaliças e raízes na Fazenda do Zoo. Durante o período foram consumidos 2.372,5 litros de óleo diesel. De acordo com a Ferramenta GHG Protocol V.2012.1 para combustão estacionária,

os fatores de emissão adotados são 2,632 para o óleo diesel e 2,348 para o biodiesel.

$$\mathbf{CO_2\text{ combustível} = Q_{\text{diesel}} \times FE_{\text{diesel}}} \quad (1)$$

Onde:

$\mathbf{CO_2\text{ combustível}}$ é a emissão de dióxido de carbono associada ao consumo de óleo diesel (t);

$\mathbf{Q_{\text{diesel}}}$ é o consumo de óleo diesel (litros);

$\mathbf{FE_{\text{diesel}}}$ é o fator de emissão de óleo diesel.

4.2.8.1.2. Consumo de combustível fóssil em fontes móveis

A equação 2 calcula as emissões de dióxido de carbono (CO_2) proveniente do consumo de óleo diesel em máquinas agrícolas, caminhões, utilitários e pequenas máquinas. Durante o período foram consumidos 44.065 litros de óleo diesel, sendo 27.818,1 litros em máquinas agrícolas, 10.256,9 litros em caminhões, 3.844 litros em camionetas, 2.106,0 litros em jipe 4 x 4 e 40 litros em pequenas máquinas. De acordo com a Ferramenta GHG Protocol V.2012.1 para combustão móvel, os fatores de emissão adotados são 2,681 para o óleo diesel e 2,499 para o biodiesel, 0,00030 para o CH_4 e 0,00002 para o N_2O .

$$\mathbf{CO_2\text{ combustível} = Q_{\text{diesel}} \times FE_{\text{diesel}}} \quad (2)$$

Onde:

$\mathbf{CO_2\text{ combustível}}$ é a emissão de dióxido de carbono associada ao consumo de óleo diesel (t);

$\mathbf{Q_{\text{diesel}}}$ é o consumo de óleo diesel (litros);

$\mathbf{FE_{\text{diesel}}}$ é o fator de emissão do óleo diesel.

4.2.8.1.3. Aplicação de fertilizantes orgânicos

A equação 3 calcula as emissões de óxido nitroso (N₂O) proveniente do uso de fertilizantes orgânicos, no caso o composto orgânico, produzido pela Unidade de Produção de Composto Orgânico da Fundação Parque Zoológico de São Paulo. Durante o período foram consumidos 97.000 kg de composto orgânico. De acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, o fator de emissão adotado é 0,1 %, a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH₃ e NO_x é 0,2 % e o percentual de nitrogênio de adubo orgânico é de 1,4 %.

$$\mathbf{N_2O_{orgânico} = Q_{orgânico} \times N_{orgânico} \times (1 - FRAC_{gasm}) \times FE \times 44/28} \quad \mathbf{(3)}$$

Onde:

N₂O_{orgânico} é a emissão de óxido nitroso associada à aplicação de fertilizantes orgânicos (composto orgânico) (kg N₂O-N / kg de adubo aplicado);

Q_{orgânico} é a quantidade de composto orgânico aplicado (kg);

N_{orgânico} é o percentual de nitrogênio de adubo orgânico (%);

FRAC_{gasm} é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH₃ e NO_x (%);

FE é o fator de emissão (%);

44/28 é o fator de conversão de N para N₂O.

4.2.8.1.4. Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos

A equação 4 calcula as emissões de óxido nitroso (N₂O) proveniente do uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos nas áreas de culturas da Fazenda do Zoo, sendo 1 simples e 3 compostos. Durante o período foram consumidos 173.475 kg de fertilizantes nitrogenados sintéticos, sendo 85.100 kg de NPK 10-30-15, 84.300 kg de NPK 36-00-12, 2.025 kg de NPK 20-05-20 e 2.050 kg de sulfato de amônio com 21% de nitrogênio. De acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, o fator de emissão adotado é 0,3 % e a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH₃ e NO_x é 10 %.

$$\mathbf{N_2O_{fertilizante} = N_{fertilizante} \times (1 - FRAC_{gasf}) \times FE \times 44/28} \quad \mathbf{(4)}$$

Onde:

N₂O_{fertilizante} é a emissão de óxido nitroso associada à aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (kg N₂O-N / kg de fertilizante aplicado);

N_{fertilizante} é a quantidade de N aplicado como fertilizante nitrogenado (kg);

FRAC_{gasf} é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH₃ e NO_x (%);

FE é o fator de emissão (%).

44/28 é o fator de conversão de N para N₂O.

4.2.8.1.5. Aplicação de calcário

A equação 5 calcula a emissão de dióxido de carbono (CO₂) durante a atividade de calagem; processo em que visa a correção do pH do solo. Utiliza-se, para tal, na Fazenda do Zoo, o calcário dolomítico, com PRNT - Poder de Reação de Neutralização Total de 90,1%. Durante o período foram consumidos 1.500.000 kg de calcário dolomítico. De acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, o fator de emissão adotado é 0,13 %.

$$\mathbf{CO_2_{calcário} = Q_{dolomítico} \times FE_{dolomítico} \times 44/12} \quad \mathbf{(5)}$$

Onde:

CO₂_{calcário} é a emissão de dióxido de carbono equivalente associada à aplicação de calcário no solo (kg CO₂);

Q_{dolomítico} é a quantidade anual de calcário dolomítico (CaMg(CO₃)₂) aplicado ao solo por ano (kg);

FE é o fator de emissão – conteúdo de carbono no calcário (%);

44/12 é o fator de conversão de C para CO₂ (adimensional).

4.2.8.1.6. Aplicação de uréia

A equação 6 calcula a emissão de dióxido de carbono (CO₂) na aplicação de uréia. Durante o período foram consumidos 1.300 kg de uréia com 44

% de nitrogênio. De acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, o fator de emissão adotado é 0,20 %.

$$\text{CO}_2 \text{ uréia} = Q \text{ uréia} \times \text{FE} \text{ uréia} \times 44/12 \quad (6)$$

Onde:

CO₂ uréia é a emissão de dióxido de carbono associada à aplicação de uréia no solo (kg CO₂);

Q uréia é a quantidade de uréia aplicada ao solo (kg);

FE é o fator de emissão para aplicação de uréia (%);

44/12 é o fator de conversão de C para CO₂.

4.2.8.1.7. Manejo de dejetos de animais

A equação 7 calcula as emissões de óxido nitroso (N₂O) proveniente do manejo de dejetos de animais, exceto pastagens (sistema extensivo). Durante o período foram calculadas as emissões de 5 bovídeos (Waterbuck, Oryx e Addax), 4 equídeos (Zebra Grevy) e 5 aves (Avestruz). De acordo com o IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, o fator de emissão adotado é 0,02 %, enquanto que a fração do N total excretado pelos animais diretamente em pastagens é de 0,2 % tanto para bovídeos, eqüídeos ou aves. Já o total de N excretado anualmente por animal de cada categoria, segundo EMBRAPA (2011), é de 40 kg N/animal/ano para bovídeos e eqüídeos e de 24 kg N/animal/ano para avestruz (adaptado a partir de aves de menor porte).

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{dej}} = \text{NA} \times \text{Nex} \times (1 - \text{FRAC}_{\text{prp}}) \times \text{FE} \times 44/28 \quad (7)$$

Onde:

N₂O_{dej} é a emissão de óxido nitroso associada ao manejo de dejetos (Kg N₂O-N/kg de dejetos depositado);

NA é o número de animais;

Nex é o total de N excretado anualmente por animal de cada categoria (kg N/animal/ano);

FRAC_{prp} é a fração do N total excretado pelos animais diretamente em pastagens (%);

FE é o fator de emissão (%).

44/28 é o fator de conversão de N para N₂O.

A equação 8 calcula as emissões de metano (CH₄) proveniente do manejo de dejetos de animais. De acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, os fatores de emissão adotados são 1,5; 1,6 e 0,117 Kg de CH₄/cabeça/ano, para bovídeos, equídeos e aves, respectivamente.

$$\mathbf{CH_4_{dej} = NA \times FE} \quad \mathbf{(8)}$$

Onde:

CH₄_{dej} é a emissão de metano associada ao manejo de dejetos (Kg de CH₄/ano);

NA é o número de animais;

FE CH₄ é o fator de emissão de metano para manejo de dejetos (Kg de CH₄/cabeça/ano).

4.2.8.1.8. Fermentação entérica

A equação 9 calcula as emissões de metano devido à fermentação entérica. Durante o período foram calculadas as emissões de 5 bovídeos (Waterbuck, Oryx e Addax) e 4 equídeos (Zebra Grevy). De acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, os fatores de emissão adotados no Estado de São Paulo são 56 e 18 de CH₄/cabeça/ano, para bovídeos e equídeos, respectivamente.

$$\mathbf{CH_4_{ferm} = NA \times FE_{CH_4_{ferm}}} \quad \mathbf{(9)}$$

Onde,

CH₄_{ferm} é a emissão de metano associada à fermentação entérica (kg de CH₄/ano);

NA é o número de animais;

FE CH₄ ferm é o fator de emissão de CH₄ para fermentação entérica (kg de CH₄/cabeça/ano).

4.2.8.1.9. Emissão de N₂O proveniente da deposição atmosférica

A equação 10 calcula as emissões de óxido nitroso proveniente da deposição atmosférica de adubos. Durante o período foram consumidos 173.475 kg de fertilizantes nitrogenados sintéticos, sendo 85.100 kg de NPK 10-30-15, 84.300 kg de NPK 36-00-12, 2.025 kg de NPK 20-05-20, além de 2.050 kg de sulfato de amônio, 1.300 kg de uréia e 97.000 kg de composto orgânico com respectivamente 21%, 44% e 1,4 % de nitrogênio. De acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, o fator de emissão adotado é 0,01 kg N₂O-N/kg [NH₃-N e NO_x-N]emitido, a fração do N aplicada na forma de fertilizante sintético que volatiliza como NH₃ e NO_x é 0,1 kg [NH₃-N e NO_x-N]/kg N aplicado e a fração do N aplicada como resíduos que volatiliza como NH₃ e NO_x é 0,2 kg [NH₃-N e NO_x-N]/kg N excretado.

$$\mathbf{N_2O(g) = [(N_{fert} \times FRAC_{gasf}) + (N_{resíduos} \times FRAC_{gasm})] \times FE \times 44/28} \quad (10)$$

Onde,

N₂O(g) é a emissão de óxido nitroso associada à deposição atmosférica (kg N₂O-N);

N_{fert} é a quantidade de N aplicada na forma de fertilizante sintético (kg de N/ano);

FRAC_{gasf} é a fração do N aplicada na forma de fertilizante sintético que volatiliza como NH₃ e NO_x (kg [NH₃-N e NO_x-N]/kg N aplicado);

N_{resíduos} é a quantidade de N contido nos resíduos aplicados aos solos como fertilizante (kg de N/ano);

FRAC_{gasm} é a fração do N aplicada como resíduos que volatiliza como NH₃ e NO_x (kg [NH₃-N e NO_x-N]/kg N excretado);

FE é o fator de emissão para a deposição atmosférica (kg N₂O-N/kg [NH₃-N e NO_x-N]emitido). (IPCC, 2006).

44/28 é o fator de conversão de N para N₂O.

4.2.8.1.10. Emissão de N₂O proveniente da lixiviação ou escoamento superficial

A equação 11 calcula as emissões de óxido nitroso proveniente da lixiviação ou escoamento superficial de adubos. Durante o período foram consumidos 173.475 kg de fertilizantes nitrogenados sintéticos, sendo 85.100 kg de NPK 10-30-15, 84.300 kg de NPK 36-00-12, 2.025 kg de NPK 20-05-20, além de 2.050 kg de sulfato de amônio, 1.300 kg de uréia e 97.000 kg de composto orgânico com respectivamente 21%, 44% e 1,4 % de nitrogênio. De acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, o fator de emissão adotado é 0,025 kg N₂O-N/kg N lixiviado/escoado e a fração do N adicionado ao solo que é perdida por lixiviação ou escoamento superficial é 0,3 kg N lixiviado ou escoado/kg de fertilizante ou esterco.

$$\mathbf{N_2O(l) = (N_{fert} + N_{resíduos}) \times FRAC_{leach} \times FE \times 44/28} \quad \mathbf{(11)}$$

Onde,

N₂O(l) é a emissão de óxido nitroso associada à lixiviação ou escoamento superficial (kg N₂O-N);

N_{fert} é a quantidade de N aplicada na forma de fertilizante sintético (kg de N/ano);

N_{resíduos} é a quantidade de N contido nos resíduos aplicados aos solos como fertilizante (kg de N/ano);

FRAC_{leach} é a fração do N adicionado ao solo que é perdida por lixiviação ou escoamento superficial (kg N lixiviado ou escoado/kg de fertilizante ou esterco);

FE é o fator de emissão de N₂O para lixiviação/escoamento (kg N₂O-N/kg N lixiviado/escoado).

44/28 é o fator de conversão de N para N₂O.

4.2.8.1.11. Mudança de cobertura do solo e sistemas de manejo

A equação 12 calcula a emissão de carbono proveniente da modificação da cobertura do solo de vegetação nativa para cultivo convencional e pastagens (alteração da biomassa). Foram considerados 71,63 ha de florestas e matas, nos quais não ocorreram mudanças, 300 ha de áreas agrícolas nos quais ocorreram a mudança de vegetação nativa para cultivo convencional em solos com

baixo teor de argila com uma taxa de alteração de -0,250 Mg C/ha/ano e 70 ha de áreas com pastagens, nos quais ocorreram a mudança de vegetação nativa para pastagem degradada com uma taxa de alteração de -0,177 Mg C/ha/ano, dados estes obtidos de acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura.

$$\text{CO}_2 \text{ emitido} = (\text{A}_{\text{mod}} \times \text{TA}) \times 3,67 \quad (12)$$

Onde,

CO₂ emitido é a quantidade de carbono emitido através da mudança do uso do solo (MG C/ha/ano);

A_{mod} é a área total que teve seu uso modificado (ha);

TA é a taxa de alteração;

3,67 é o fator de conversão de C para CO₂.

4.2.8.1.12. Mudança de carbono no solo

Apesar do tempo de 20 anos ser considerado suficiente para a estabilização do carbono no solo em função do seu uso, há uma substituição permanente de um reservatório de carbono antigo, relativamente constante e auto regenerativo por um reservatório geralmente de dimensão inferior e não auto regenerativo (WRI, 2013).

A equação 13 calcula as emissões provenientes da mudança de carbono no solo, em função da mudança da vegetação nativa para agricultura e pastagens. Foram considerados 71,63 ha de florestas e matas, nos quais não ocorreram mudanças, 300 ha de áreas agrícolas nos quais ocorreram a mudança de vegetação nativa para agricultura com um fator de alteração de C no solo de 0,612 e 70 ha de áreas com pastagens, nos quais ocorreram a mudança de vegetação nativa para pastagem degradada com um fator de alteração de C no solo de 0,970, dados estes obtidos de acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura. Segundo o MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010, considerando a vegetação do local como Floresta Estacional Semi-Decidual e um tipo de solo como S2 – Latossolo com atividade de argila baixa, o carbono médio do solo sob vegetação primária é de 4,43 kg C/m².

$$E_{si} = (A_i * C_{solo} * [fc(tO) - fc(tf)] * (T/2)/20) * 3,67 \quad (13)$$

Onde,

E_{si} é a emissão líquida associada ao polígono i no período T devido à variação do C no solo em t de carbono;

A_i é a área do polígono i (ha);

C_{solo} é o C médio do solo sob vegetação primária (kg C/ m²);

fc (t0) é o fator de alteração de C no solo para floresta;

fc (tf) é o fator de alteração de C no solo para pastagem ou área agrícola;

T é o período (anos).

3,67 é o fator de conversão de C para CO₂.

4.2.8.1.13. Resíduos de colheitas

A equação 14 calcula a emissão de óxido nitroso (N₂O) proveniente da decomposição dos resíduos agrícolas, ou seja, da palhada pós colheita. Para se calcular tal emissão, foram considerados os resíduos das culturas do milho, trigo e cana de açúcar, cujas produções durante o ano agrícola 2013-2014 foram de 1.453,10 toneladas, 30,60 toneladas e 289 toneladas, respectivamente. De acordo com o Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência - EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO DE SOLOS AGRÍCOLAS E DE MANEJO DE DEJETOS, 2013, pág. 40, o fator de emissão adotado para todas as culturas listadas é 0,01. Já, de acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, a fração da matéria seca do produto das culturas do milho e trigo é de 0,87, enquanto que as razões entre o resíduo seco e o produto seco são de 1,49 para milho e 0,169 para a cana. O conteúdo de N da parte aérea é de 0,08 (milho), 0,013 (trigo) e 0,06 (cana).

$$N_2O_{resíduo} = (CROP * FRAC_{crop} * Res / CROP * FRAC_{res}) * FE * 44/28 \quad (14)$$

Onde,

N₂O_{resíduo} é a emissão de óxido nitroso associada aos resíduos de colheita;

CROP é a produção anual de cada cultura;

FRAC_{crop} é a fração da matéria seca do produto de cada cultura;

Res / CROP é a razão entre o resíduo seco e o produto seco de cada cultura (Tabela 17);

FRAC_{res} é o conteúdo de N da parte aérea de cada cultura;

FE é o fator de emissão.

44/28 é o fator de conversão de N para N₂O.

4.2.8.2. Escopo 2

4.2.8.2.1. Energia elétrica

A equação 15 calcula as emissões provenientes do uso de energia elétrica durante o período de julho de 2013 a junho de 2014:

$$\mathbf{CO_2_{energia} = EE \times FE} \quad \mathbf{(15)}$$

Onde,

CO₂_{energia} é a emissão de CO₂ (tCO₂);

EE é o consumo de energia elétrica (MWh);

FE é o fator de emissão nacional (tCO₂/MWh) (Tabela 2).

Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, os fatores de emissão médios de CO₂ para energia elétrica a serem utilizados em inventários têm como objetivo estimar a quantidade de CO₂ associada a uma geração de energia elétrica determinada. Ele calcula a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem.

Tabela 2. Consumo de energia elétrica em kW/h e fatores de emissão para energia elétrica

ANO	MÊS	CONSUMO KWh	FATORES DE EMISSÃO t(CO ₂ /MWh)
2013	Jul	4575	0,0838
	Ago	2410	0,0833
	Set	3502	0,0840
	Out	2509	0,0831
	Nov	2844	0,0930
	Dez	1132	0,0841
2014	Jan	4682	0,0911
	Fev	6154	0,1169
	Mar	6881	0,1238
	Abr	5840	0,1310
	Mai	5925	0,1422
	Jun	5484	0,1440

Fonte: adaptado de Ministério da Ciência e Tecnologia, 2015.

4.2.8.3. Escopo 3

4.2.8.3.1. Transporte terceirizado à Fazenda do Zoo

Como tanto o transporte de insumos, como de grãos vendidos, é feito por empresas terceirizadas, primeiramente é necessário fazer o cálculo da quantidade de óleo diesel consumida, através da equação 16, para posterior

aplicação de tal resultado na equação 2. Durante o período foram consumidos 1.950,6 litros de óleo diesel, sendo 1.818,7 litros provenientes de caminhões pesados e 131,9 litros de veículos leves. De acordo com a Ferramenta GHG Protocol V.2012.1 e o MMA - Ministério do Meio Ambiente, um caminhão pesado à diesel, com capacidade nominal de 15.000 kg, apresenta um consumo médio de 3,17 km/l de óleo diesel, enquanto que caminhões leves para 6.000 kg e camionetas para 1.000 kg apresentam consumos de 5,56 e 9,09 km/l, respectivamente.

$$Q_{\text{transportes}} = (\text{km ida e volta} \times \text{consumo}) \times (\text{total transportado/capacidade}) \quad (16)$$

Onde,

$Q_{\text{transportes}}$ é a quantidade consumida de óleo diesel (l)

km ida e volta é a distância total percorrida (km);

consumo é média verificada para a categoria (km/l);

total transportado (kg);

capacidade do veículo é a capacidade nominal que o veículo pode transportar (kg).

4.2.8.3.2. Viagens dos servidores e transportes de materiais da FPZSP à Fazenda do Zoo

Para se calcular a emissão proveniente das viagens dos servidores da FPZSP à Fazenda do Zoo, também primeiramente é necessário fazer o cálculo da quantidade de óleo diesel consumida, através da equação 17, para posterior aplicação de tal resultado na equação 2. Durante o período foram rodados 43.290 quilômetros, sendo 22.230 provenientes de caminhões leves e 21.060 de camionetas leves.

$$Q_{\text{viagens}} = \text{km ida e volta} / \text{consumo} \quad (17)$$

Onde,

Q_{viagens} é a quantidade consumida de óleo diesel (l);

Km ida e volta é a distância total percorrida (km);

consumo é média verificada para a categoria (km/l).

4.2.8.3.3. Aplicação de defensivos agrícolas

A equação 18 calcula a emissão de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) associado à fase de produção e transporte de defensivos agrícolas pelas indústrias químicas. Essa aplicação emite, além do CO₂, outros GEEs, como por exemplo, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). A equação abaixo faz a conversão de tais gases em CO₂ equivalente. Durante o período foram consumidos 1.293,02 kg de defensivos agrícolas, sendo 1.173,74 kg de herbicidas e 119,28 kg de inseticidas. De acordo com o Greenhouse Gas Protocol – Metodologia do GHG Protocol da agricultura, os fatores de emissão adotados são 10,2610 para herbicidas, 16,6750 para inseticidas e 10,1140 para fungicida. Todos os valores expressos em kg CO₂eq / kg produto.

$$\text{CO}_2 \text{ defensivo} = \text{Q}_{\text{herbicida}} \times \text{FE}_{\text{herbicida}} + \text{Q}_{\text{inseticida}} \times \text{FE}_{\text{inseticida}} + \text{Q}_{\text{fungicida}} \times \text{FE}_{\text{fungicida}} \quad (18)$$

Onde,

CO₂ defensivo é a emissão de dióxido de carbono equivalente associada à aplicação de defensivos agrícolas no solo (kg CO₂eq);

Q_{herbicida} é q quantidade de herbicida aplicado no solo (kg);

FE_{herbicida} é o fator de emissão de herbicida (kg CO₂eq / kg produto);

Q_{inseticida} é a quantidade de inseticida aplicada no solo (kg);

FE_{inseticida} é o fator de emissão de inseticida (kg CO₂eq / kg produto).

4.2.8.3.4. Resíduos não recicláveis

Os resíduos sólidos não-recicláveis (lixo orgânico) são encaminhados aos aterros sanitários, onde o processo de decomposição da matéria orgânica gera o gás metano (CH₄). Resíduos recicláveis não são contemplados. Durante o período foram gerados 1,04 toneladas de lixo orgânico. De acordo com o Brazilian Carbon Bureau, 2012, o fator de emissão é de 0,5 e o COD - Carbono Orgânico Degradado é de 0,2 %.

Seguem abaixo as equações 19 e 20 que resultam na emissão de metano (CH₄) proveniente da geração de resíduos não-recicláveis.

$$L_o = COD \times FE \times 16/12 \quad (19)$$

Onde,

L_o é o potencial de geração de metano (t);

COD é o Carbono Orgânico Degradado (%);

FE é o fator de concentração de metano no biogás gerado;

16/12 é a razão de conversão de carbono em metano.

$$CH_4_{\text{resíduo}} = L_o \times 1 \times Q \quad (20)$$

Onde,

CH₄_{resíduo} é a emissão de metano associado a geração de resíduos não-recicláveis (t);

L_o é o potencial de geração de metano (t);

Q é a quantidade de resíduo gerado (t).

4.3. Estimativa do sequestro de carbono em áreas florestais e agrícolas

4.3.1. Áreas florestais

O sequestro de carbono refere-se ao processo de absorção de CO₂ da atmosfera pela planta, que o fixa em forma de matéria lenhosa ou biomassa. Desse modo, as florestas, sejam elas nativas ou exóticas, desempenham papel significativo no ciclo do carbono, devido à sua capacidade em fixar quantidades de carbono na vegetação por longo prazo, trocando o carbono com a atmosfera por meio da fotossíntese e respiração.

Dentro da Fazenda do Zoo, através de medições com GPS, contando ainda com auxílio da ferramenta Google Earth, imagens obtidas em 2014, foram mensuradas todas as áreas com vegetação nativa e exótica. A vegetação nativa foi classificada em áreas em regeneração, áreas com fragmentos consolidados, áreas de preservação permanente e áreas restauradas em processo de crescimento. Para

cada uma destas categorias foi atribuída uma idade aproximada levando em consideração o histórico do local. Já a vegetação exótica, formada por florestas de eucalipto e pinus, utilizadas para fins comerciais e ornamentais, respectivamente, foi considerada a data de plantio das mesmas.

Para tais locais foram considerados como potenciais seqüestradores de carbono as biomassas acima do solo e subterrânea, os sub-bosques formados e a serrapilheira.

Para quantificar os valores de biomassa acima do solo em áreas com vegetação nativa, foram utilizados dados obtidos através de trabalho desenvolvido por Preiskorn (2011), no qual foi realizado um estudo sobre a composição florística, estrutura e quantificação do estoque de carbono em florestas restauradas com idades diferentes, semelhante às Florestas Estacionais Semidecíduais localizadas no Estado de São Paulo, nos municípios de Santa Bárbara d'Oeste, Iracemópolis, Cosmópolis e Rio Claro, com clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo Cwa, com chuvas no verão e seca no inverno, altitude entre 560 e 620 m, pluviosidade média anual em torno de 1.300 a 1.400 mm e temperatura média anual entre 12°C e 22°C. Os modelos de plantio e espaçamentos em tais restaurações foram variados. Os dados utilizados foram com base na média dos resultados obtidos entre as equações de Brown (1997), e Lacerda, et al. (2009), pesquisadas pela autora.

Tal estudo foi escolhido em função das características de tais áreas serem bastante semelhantes à da Fazenda do Zoo. Com base nos resultados foi estimada a capacidade de absorção de toneladas de carbono em espécies nativas tomando por base a idade aproximada e o tamanho, em hectares, das áreas florestais. Uma classificação foi realizada em todos os fragmentos florestais e áreas de preservação permanente, de acordo com o estágio de regeneração visualizado: inicial, médio ou avançado, bem como em histórico local. O estoque total calculado foi dividido pela idade estimada da floresta, para se obter a quantidade anual de carbono seqüestrado.

Já para quantificar os valores de biomassa acima do solo em áreas reflorestadas com pinus e eucalipto, foram utilizados dados obtidos através de trabalho desenvolvido por Flizikowski (2012), no qual foi realizada uma proposta de compensação de gases de efeito estufa utilizando o sequestro de carbono florestal por meio do plantio de pinus e eucaliptos. Através de tabelas adaptadas pela autora,

com base nos programas de simulação Sispinus e Siseucalyptus, foram obtidos dados de sequestro de carbono de acordo com os espaçamentos utilizados e idade das árvores semelhantes aos povoamentos destas espécies presentes na Fazenda do Zoo.

A neutralização das emissões de GEEs, nada mais é que a capacidade das florestas em absorver toneladas de carbono (C) proveniente das emissões de CO₂. Portanto, através da equação 21, é necessário converter a quantidade de C que uma área é capaz de absorver em CO₂; considerando que 1 t de C equivale a 3,67 t de CO₂. Quando são fornecidos dados de estoque em tCO₂/ha, não é necessária tal conversão.

$$\mathbf{C = Q \text{ CO}_2 / 3,67} \quad (21)$$

Onde,

C é a quantidade de carbono disponível para sequestro na emissão de CO₂ (t);

Q CO₂ é a quantidade de dióxido de carbono emitido (t).

A equação 22 calcula as biomassas acima do solo e subterrânea, os sub-bosques formados e a serrapilheira de áreas florestais.

$$\mathbf{C_{\text{sequestrado áreas florestais}} = A_{\text{florestal}} * (E_{\text{carbono}} \times 3,67) / i} \quad (22)$$

Onde:

C_{sequestrado áreas florestais} é a quantidade de carbono seqüestrado (t);

A_{florestal} é área da floresta ou fragmento (ha);

E_{carbono} é a quantidade estocada de carbono (MgC/ha);

i é a idade ou tempo transcorrido desde o plantio da floresta (anos).

Conforme a metodologia do IPCC (2007), existem fatores que permitem considerar o volume de raízes em volume comercial multiplicado por 1,29. Assim sendo, a biomassa subterrânea pôde ser calculada, correspondendo a 29 % da biomassa acima do solo, determinada pela equação 23:

$$\text{Biomassa subterrânea} = \text{Biomassa acima do solo} \times 0,29 \quad (23)$$

Onde:

Biomassa subterrânea é a quantidade de recurso renovável que provêm de matéria orgânica abaixo do nível do solo (t);

Biomassa acima do solo é a quantidade de recurso renovável que provêm de matéria orgânica acima do nível do solo (t).

Para quantificar os valores de biomassa da serrapilheira em áreas com vegetação nativa, foram utilizados dados obtidos através de trabalho desenvolvido por Torres et al. (2013), no qual foi realizado um estudo sobre a quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual localizada no Estado de Minas Gerais, município de Viçosa, com clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo Cwa, tropical de altitude, com verões quentes e chuvosos e invernos seco e úmido, pluviosidade média anual em torno de 1.350 mm e temperatura média anual entre 14° C e 26,1° C. Os dados utilizados foram com base nos resultados obtidos pelo autor através da metodologia estabelecida pelo IPCC (2006).

Com base no estudo desenvolvido por Witschoreck (2008), referente à estimativa do carbono da serrapilheira acumulada em florestas de eucalipto, foi levada em consideração, além da idade das florestas, a equiparação das características de DAP (diâmetro acima do peito) médio e altura média às encontradas no programa de simulação Siseucalyptus, o que determinou o aproveitamento de resultados provenientes nos plantios com 8 anos de idade, semelhante ao reflorestamento desta espécie na Fazenda do Zoo.

Referente à estimativa de biomassa e carbono orgânico em povoamentos de pinus no reflorestamento desta espécie na Fazenda do Zoo, com idade estimada de 20 anos, foi levada em consideração a média aritmética dos resultados obtidos entre as 2 povoamentos de 14 e 32 anos, trabalho este desenvolvido por Watzlawick e Caldeira (2004).

No trabalho Sistemas Agropastoris, Bernardino e Garcia (2009), citaram Sharrow e Ismail (2004), em uma análise feita em uma pastagem, um

sistema silvipastoril e um plantio florestal convencional, na qual foi possível estimar o conteúdo médio de carbono em um sub-bosque de eucalipto.

Tabela 3. Estimativa do sequestro de carbono da biomassa em áreas florestais (tCO₂/ha).

espécie	área	espaçamento	idade estimada (anos)	Acima do solo	subterrânea	sub-bosque	serrapilheira
Nativas (regeneração)	21,50	aleatório	8	288,8	83,7	-	-
Nativas (fragmentos)	11,70	aleatório	90	1.056,6	306,4	8,8	15,7
Nativas (APP-matas. ciliares)	6,40	aleatório	50	688,5	199,7	8,8	15,7
Nativas (restauração)	2,88	3,0 x 2,0 m	3	207,3	60,1	-	-
Eucalipto (reflorestamento)	23,56	3,0 x 3,0 m	7	114,0	33,1	8,2	20,2
Pinus (reflorestamento)	5,59	2,5 x 2,5 m	20	525,8	152,5	4,2	22,9

4.3.2. Áreas agrícolas

Foram consideradas também, para efeito de seqüestro de carbono, as mudanças de cobertura da terra e sistemas de manejo, através da adoção da técnica de plantio direto em uma área de 300 ha. Com base em estudo desenvolvido por Amado (2003), referente à matéria orgânica do solo no sistema de plantio direto, os acúmulos de carbono em sistema de plantio direto em relação ao plantio apresentadas nos melhores tratamentos variaram de 1 a 1,6 t C ha⁻¹ ano⁻¹. Foi adotado o acúmulo de 1,25 t C ha⁻¹ ano⁻¹ para fins de cálculos. Contudo, são escassos, ainda, os resultados de seqüestro de carbono em solos brasileiros quando o plantio direto é utilizado.

A equação 24 calcula o sequestro de carbono proveniente de tal alteração de sistema de plantio.

$$C_{\text{sequestrado pl.diretoexpl.convencional}} = A_{\text{plantio}} \times 1,25 \quad (24)$$

Onde,

$C_{\text{sequestrado}}$ é a quantidade de carbono seqüestrado pela alteração do plantio convencional pelo plantio direto(t/ha/ano);

A_{plantio} é área de plantio (ha).

5. RESULTADOS

5.1. Inventário das emissões

Os resultados do inventário de emissões de GEEs durante o ano agrícola 2013-2014 estão localizados na Tabela 4, cujas fórmulas, fatores e demais dados foram descritos na metodologia. As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O foram calculadas e posteriormente convertidas em toneladas de CO_{2eq} (tCO_{2eq}).

Tabela 4. Sumarização das emissões de GEEs convertidas em tCO_{2eq}

ESCOPOS/FONTES DE EMISSÃO	CO ₂	CH ₄ (tCO _{2eq})	N ₂ O (tCO _{2eq})	TOTAL (tCO _{2eq})
ESCOPO 1				
Consumo de combustível fóssil em fonte fixa	5,932	0,000	0,000	5,932
Consumo de combustível fóssil em fonte móvel	112,231	0,314	0,249	112,795
Aplicação de fertilizantes orgânicos	0,000	0,000	63,466	63,466
Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos	0,000	0,000	50,187	50,187
Aplicação de calcário	7,150	0,000	0,000	7,150
Aplicação de uréia	0,010	0,000	0,000	0,010
Manejo de dejetos	0,000	0,362	0,033	0,406
Fermentação entérica	0,000	8,800	0,000	8,800
Emissão de N ₂ O proveniente da deposição atmosférica	0,000	0,000	19,492	19,492
Emissão de N ₂ O proveniente de lixiviação	0,000	0,000	146,188	146,188
Mudança de cobertura do solo e sistemas de manejo	320,721	0,000	0,000	320,721
Mudança de carbono no solo	481,646	0,000	0,000	481,646
Resíduos de colheitas	0,000	0,000	73,560	73,560
SUB-TOTAL	927,691	9,476	353,176	1.290,353
ESCOPO 2				
Energia Elétrica	5,842	0,000	0,000	5,842
SUB-TOTAL	5,842	0,000	0,000	5,842
ESCOPO 3				
Transporte de insumos do fabricante à Fazenda do Zoo	5,484	0,015	0,012	5,511
Transporte de grãos para venda	4,146	0,012	0,009	4,167
Viagens para transporte de servidores e materiais	16,084	0,045	0,036	16,165
Aplicação de defensivos agrícolas	14,033	0,000	0,000	14,033
Resíduos não recicláveis	0,000	3,467	0,000	3,467
SUB-TOTAL	39,747	3,539	0,057	43,342
TOTAL GERAL	973,279	13,015	353,233	1.339,536

A biomassa gerada na produção de biodiesel que compõe o óleo diesel comercializado resultaram na emissão de 6,2568 toneladas de CO_{2eq} e, por serem consideradas como neutras, não são contabilizadas.

5.2. Estimativa do sequestro de carbono em áreas florestais e agrícolas

Os resultados da estimativa do sequestro de carbono em áreas florestais e agrícolas estão localizados na Tabela 5. Os seqüestros foram calculados em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2eq}).

Tabela 5. Sumarização das estimativas de carbono seqüestrado convertidas em CO_{2eq}/ano.

SEQUESTROS	tCO_{2eq}
Biomassa acima do solo	1.717,4
Biomassa subterrânea	498,0
Sub-bosque	30,9
Serrapilheira	78,2
Mudança de cobertura do solo e sistemas de manejo	1.376,3
TOTAL SEQUESTRO ANUAL	3.700,8

6. DISCUSSÃO

Através do inventário realizado, a Fazenda do Zoo conseguiu quantificar uma boa parte das emissões de gases do efeito estufa proveniente de suas atividades durante o ano agrícola 2013-2014, período compreendido entre julho de 2013 a junho de 2014.

Há de se ressaltar a importância da definição dos escopos do inventário, a separação das emissões diretas e indiretas, e considerar as suas limitações. Em análise aos resultados apurados, pode-se observar que o escopo 1, o mais estudado, totalizou 96,3% das emissões totais de CO_{2eq}. Já os escopos 2 e 3 constituíram apenas, 0,5% e 3,2% das emissões, respectivamente, conforme observa-se na Figura 2.

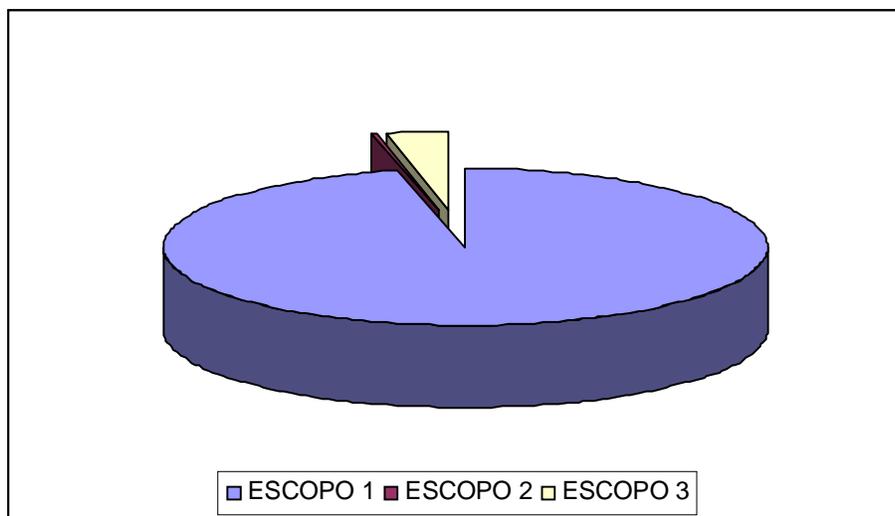


Figura 2 – Distribuição das emissões de CO_{2eq} por escopo

Para efeito comparativo aos dados acima citados, foram relacionadas, além da Fazenda do Zoo, de atividade agrícola, duas empresas de importantes ramos diferentes, industrial e construção civil, representadas pela ABIMAQ – Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos e uma construtora que realizou a obra de um Shopping Center em Curitiba, PR, respectivamente, a fim de se verificar a representação de cada escopo de emissão dentro de seus processos.

Tabela 6. Comparação da % de emissões de carbono por escopo entre 3 empresas de atividades diferentes

ESCOPOS	ATIVIDADES		
	AGRÍCOLA (1)	INDUSTRIAL(2)	CONSTRUÇÃO CIVIL (3)
Escopo 1	96,3 %	22,0 %	0,01 %
Escopo 2	0,5 %	35,0 %	0,0001 %
Escopo 3	3,2 %	43,0%	99,9 %
TOTAL	100,000 %	100,000 %	100,000 %

Fontes: (1) O próprio autor.

(2) Brazilian Carbon Bureau (BCB), 2010.

(3) FLIZIKOWSKI, 2012.

Diante da Tabela 6 pôde-se observar que a atividade agrícola, representada pela Fazenda do Zoo, apresentou suas emissões concentradas no escopo 1, consideradas como diretas, ou seja, provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela organização. Deve-se ressaltar a relevância destas emissões uma vez possibilitar à gestão da empresa uma influência direta na implementação de medidas mitigatórias nos processos.

Para a elaboração de um inventário que traduza melhor a realidade dos fatos, é importante a inclusão de uma quantidade maior de fontes de emissão no escopo 3, apesar de ser considerado como opcional. As contabilizações das emissões de tal escopo provenientes de outras atividades indiretas da Fazenda do Zoo foram limitadas, pois houve dificuldade em rastrear dados importantes para os cálculos, como a produção de insumos agrícolas (defensivos agrícolas, fertilizantes químicos e sementes). Ainda é muito restrita a disponibilização destes dados por parte dos fabricantes.

Situação oposta ocorre com a construção civil, na qual é disponibilizado um grande número de informações por parte de fabricantes de cal, asfalto, aço, cimento, resina, poliéster, fibra de vidro, alumínio, ferro, gesso, cerâmica, cobre, polipropileno, nylon, PVC, tintas e vidro, garantindo assim um aumento do limite do inventário.

O setor industrial, analisado através da ABIMAQ - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos, apresentou uma distribuição das emissões entre escopos um pouco mais uniforme em relação aos demais setores analisados, com uma participação maior do escopo 2, representado pelo consumo de energia elétrica.

Praticamente todas as atividades das produções agrícola e florestal da Fazenda do Zoo puderam ser contempladas no escopo 1 do inventário, em concordância com a Metodologia do GHG Protocol da Agricultura, tornando o trabalho bastante abrangente em relação às emissões diretas. Há de se ressaltar a dificuldade de encontrar trabalhos similares para fins de comparação de dados, sendo que o que mais se aproximou foi o inventário de emissões de GEEs da cadeia produtiva da Souza Cruz, de 2013, que abrangeu atividades agrícolas, florestais, industriais e de logística.

Em análise ao referido inventário, observou-se que tal empresa apresentou percentuais absolutos de emissão direta similares em relação ao sistema de produção agrícola da Fazenda do Zoo, proporcionada pelas atividades dos produtores de tabaco. Em relação aos percentuais relativos, os números foram bem diferentes, comprovando o quanto podem variar os resultados de inventários de diferentes empresas de um mesmo setor. A maior emissão verificada foi em relação à lenha queimada em estufas de cura de tabaco.

Foram analisados também os resultados dos relatórios: “1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos no Estado de São Paulo” (CETESB, 2011) e “Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil” (SEPED, 2013), dados obtidos de 2008 e 2010, respectivamente, entretanto tais estudos contemplaram apenas o escopo 1.

As fontes de emissão mais significativas verificadas nos mesmos foram em relação à aplicação de calcário, ao manejo de dejetos, à fermentação entérica, aos solos agrícolas, ao plantio de arroz e à queima de resíduos.

Os resultados apresentados nos inventários realizados no Estado de São Paulo e no Brasil foram bastante parecidos entre si, inclusive com um número de fontes de emissões bem semelhantes, ambos divergindo bastante neste aspecto em relação ao aplicado na Fazenda do Zoo. Foi possível observar que mesmo dentro da mesma atividade, no caso a agricultura, os resultados podem ser bastante divergentes considerando diversas regiões do Brasil.

Dentre os relatórios analisados, por conta da criação de gado, foram relacionadas as emissões provenientes do manejo dos dejetos e da fermentação entérica, esta com uma porcentagem bastante significativo por conta da liberação de gás metano. Demais emissões, como plantio de arroz e queima de resíduos, esta última proporcionada principalmente pela queima da cana de açúcar, não constam no inventário da Fazenda do Zoo por não serem realizadas.

No inventário da Fazenda do Zoo, apesar dos fatores de emissão relacionados às mudanças de uso do solo e de carbono no solo terem representado uma maior participação percentual dentro do escopo 1, ao redor de 60 %, outras fontes devem ser mais discutidas por apresentarem resultados mais tangíveis, o que possibilita uma redução de emissão de carbono a curto ou médio prazos (Figura 3).

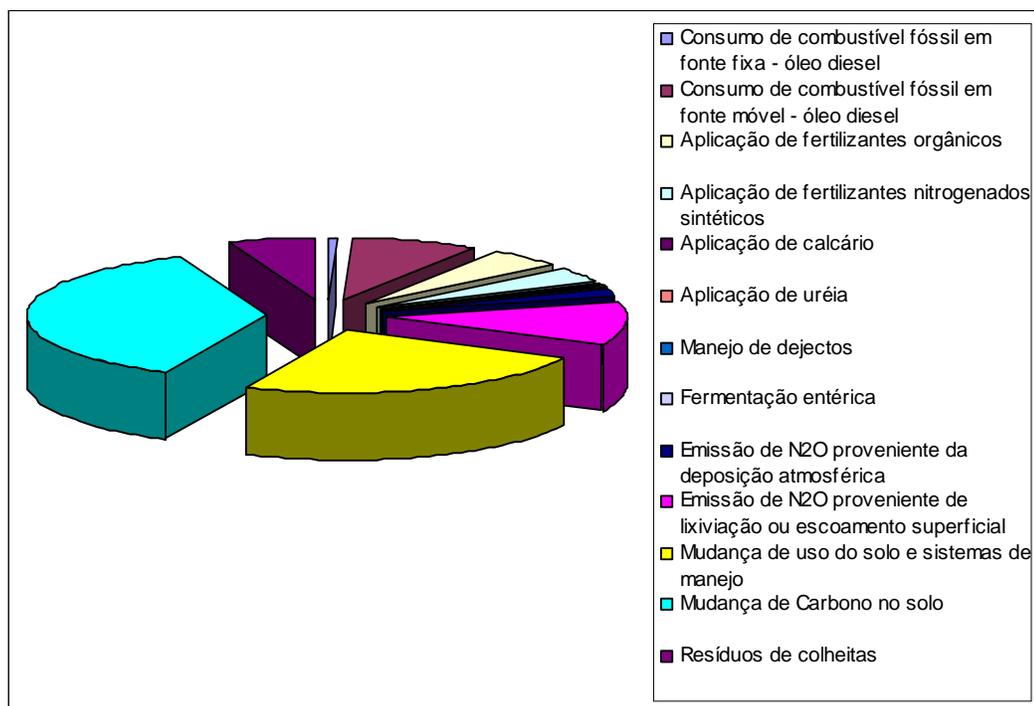


Figura 3 – Distribuição total das emissões dentro do Escopo 1

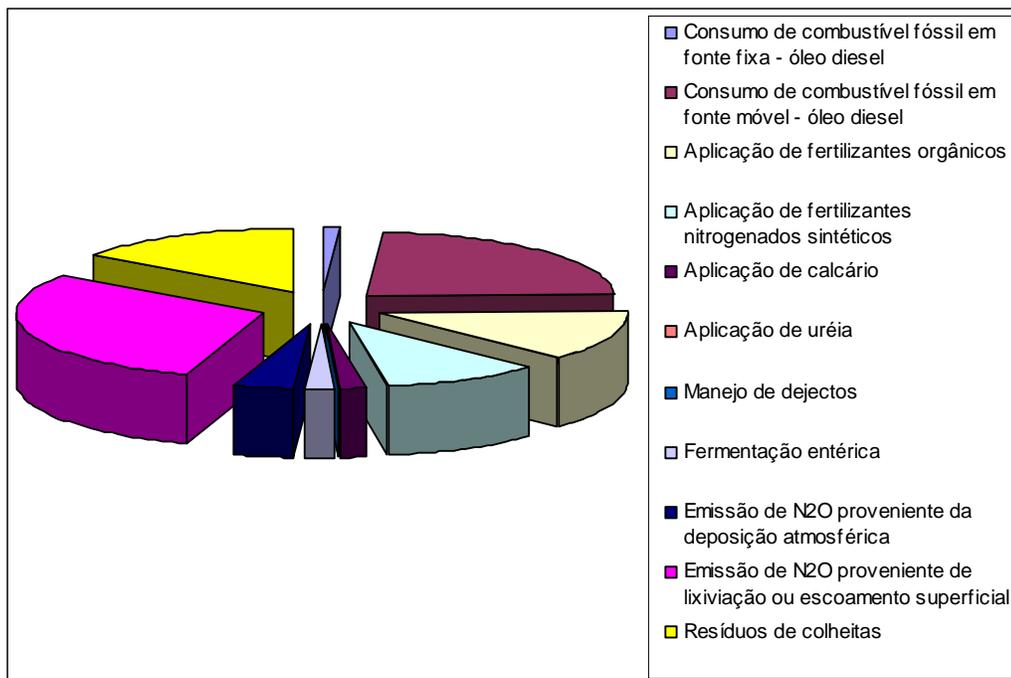


Figura 4 – Distribuição das emissões Escopo 1, exceto fatores de emissão relacionados às mudanças do uso do solo e de carbono do solo

Dentro ainda do escopo 1, excluindo-se tais fatores, ou seja, considerando apenas os ligados diretamente ao setor agrícola, as emissões mais significativas foram àquelas relacionadas ao consumo de combustível fóssil em fonte móvel (23,115 %), aplicação de fertilizantes orgânicos (13,006%), aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (10,285 %), emissão de N₂O proveniente de lixiviação ou escoamento superficial (29,958%) e resíduos de colheitas (15,075%). Demais emissões representaram apenas 8,56%. A distribuição dos fatores ligados a tal setor pode ser verificada acima na Figura 4.

As emissões de óxido nitroso de solos agrícolas sejam elas diretas, como as aplicações de fertilizantes nitrogenados sintéticos, fertilizantes orgânicos e dejetos, além dos resíduos de colheitas, sejam indiretas, geradas pela perda de nitrogênio provocada pela deposição atmosférica do nitrogênio volatilizado, bem como pela lixiviação ou escoamento superficial, foram bastante significativas, totalizando 26,37% das emissões conforme a Tabela 7, fazendo que haja a necessidade de uma preocupação particular no manejo destes tipos de fertilizantes e resíduos.

Tabela 7. Participação percentual de gases de efeito estufa emitidos pela Fazenda do Zoo no ano agrícola 2013-2014

ESCOPOS	GASES DE EFEITO ESTUFA			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
ESCOPO 1	71,89 %	0,73 %	27,37 %	100,00 %
ESCOPO 2	100,00 %	0,00 %	0,00 %	100,00 %
ESCOPO 3	91,70 %	8,16 %	0,13 %	100,00 %
TOTAL GERAL POR GEE	72,66 %	0,97 %	26,37 %	100,00 %

A agricultura é a atividade responsável por mais de 60% das emissões de N₂O para a atmosfera, o que está relacionado ao aumento das formas inorgânicas de nitrogênio no solo por ação antropogênica (EMBRAPA, 2011). Um estudo realizado por tal autor teve como objetivo obter estimativas das emissões brasileiras de N₂O de solos agrícolas para o período 1990-2006, resultando 66,9% em função das emissões diretas (fertilizantes químicos, fertilizantes orgânicos, resíduos de culturas, solos orgânicos e manejo de dejetos) e 33,1% em função das emissões indiretas (deposição atmosférica e lixiviação). Já os resultados apresentados pela Fazenda do Zoo foram bem semelhantes em tais números absolutos, porém já demonstram uma certa particularidade das suas atividades desenvolvidas, principalmente em relação ao uso de fertilizantes orgânicos, bem mais difundido.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados é essencial para o aumento da produtividade das culturas. O nitrogênio (N) é o nutriente responsável pelo o crescimento das plantas, para a produção de novas células e tecidos. Diante desta necessidade, buscando conjugar a produtividade das plantas e mitigação da emissão de gases, algumas ações podem ser adotadas.

Em relação ao tipo de fertilizante nitrogenado a ser utilizado, já existem pesquisas para a produção de fertilizantes nitrogenados de forma mais sustentável, buscando a redução do uso de energia e/ou a utilização de energia renovável. Com

tal medida, haveria uma redução de emissões no escopo 3. Apesar de não ter sido contemplado neste trabalho por falta de informações por parte dos fabricantes, a emissão de GEEs no processo produtivo de fertilizantes nitrogenados é bastante significativa.

Por ficar exposto, o nitrogênio aplicado superficialmente emite uma quantidade maior de óxido nitroso em relação quando a aplicação é feita por debaixo da camada superficial do solo, evitando a diminuição da perda por volatilização e lixiviação.

O uso indiscriminado de fertilizantes, além de provocar uma emissão de óxido nitroso de forma desnecessária, pode incidir em um desequilíbrio nutricional, e, muitas vezes, fitotoxicidade nas plantas. Para tanto, a análise do solo é fundamental para se estabelecer os níveis adequados dos nutrientes. O mesmo fundamento se aplica ao uso de defensivos agrícolas. Com a adoção do manejo integrado de insetos, moléstias e plantas invasoras, torna-se possível a redução da utilização destes produtos.

Na agricultura, embora mais produto seja extraído de cada unidade de terra colocada em cultivo, o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos cresce muito mais que a oferta de grãos (ABROMOVAY, 2012). Uma das formas de reduzir o consumo deste insumo é através do plantio de leguminosas cujas raízes são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico, técnica esta denominada de adubação verde. Pode ser encarada como uma oportunidade de ganhos econômicos com base na substituição de insumos “marrons” por insumos “verdes. A técnica garante ainda a manutenção da cobertura do solo proporcionando uma melhoria em suas propriedades físicas, químicas e biológicas, além do controle de erosão.

Apesar do termo “ganhos econômicos” ter sido citado por Abromovay (2012), referente à substituição de fertilizantes sintéticos por formas mais orgânicas de fornecimento de nitrogênio ao solo, há de se ter cautela em tal afirmação, considerando assim que o mais adequado, sob os pontos de vista econômico e ambiental, seria se trabalhar de forma complementar ambas as modalidades de adubação. Segundo Primavesi (1990), a adubação verde bem escolhida aumenta o efeito dos adubos químicos, e contribui para maior vigor da cultura, diminuindo, com isso, a susceptibilidade pragas e doenças. Mazuchowski e Derpsch (1984), estimam que a utilização de leguminosas como adubo verde podem economizar em torno de

80 kg/ha de nitrogênio, equivalentes a aproximadamente 400 kg/ha de sulfato de amônio ou 174 kg/ha de uréia.

A utilização de técnicas de mínimo impacto e tecnologias ambientalmente corretas contribuem para um almejado desenvolvimento agrícola sustentado, através da conservação dos recursos genéticos da terra, água e vegetação, e conseqüentemente, sem degradação ao meio ambiente (MALLOUF, 1993).

Estima-se que a agricultura seja responsável por 23% de GEEs de origem antropogênica (PES, 2009). Através dos números obtidos por este estudo, tal setor realmente apresenta uma emissão bastante significativa, porém há de se considerar o sequestro de carbono nas áreas agrícolas e florestais das propriedades rurais, que proporcionaram a neutralização total dos gases.

A alteração do cultivo convencional para o sistema de plantio direto proporcionou um sequestro de 1.376,25 toneladas de dióxido de carbono equivalente ($t\ CO_2e$), ou 375 toneladas de carbono (tC). Além do ganho ambiental proporcionado pelo acúmulo deste elemento no solo, há de se considerar a economia de combustíveis fósseis em função da extinção das atividades de revolvimento do solo, como aração e gradagem. Segundo ainda Mazuchowski e Derpsch (1984), tal economia em relação ao plantio convencional nas culturas soja, milho e trigo chega a quase a um terço do consumo total.

Conforme verificado, a técnica de plantio direto aparece como grande alternativa para sequestro de carbono em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais, através da redução das perdas de CO_2 via mineralização da matéria orgânica e liberação através dos poros do solo. A técnica proporciona ainda a diminuição do uso de combustíveis fósseis, possibilidade de redução de fertilizantes minerais e controle da erosão. Comprovada a sua viabilidade em relação ao plantio convencional, a técnica vem, cada vez mais, ganhando espaço em todas as áreas de cultivo.

As áreas agrícolas, por conta do acúmulo de carbono provocado pela mudança de uso do solo, bem como pela alteração do sistema de manejo, e florestais, devido à presença das biomassas acima e abaixo do solo, além do sub-bosque e serrapilheira, representaram 37,19% e 62,81% do seqüestro do carbono anual, respectivamente.

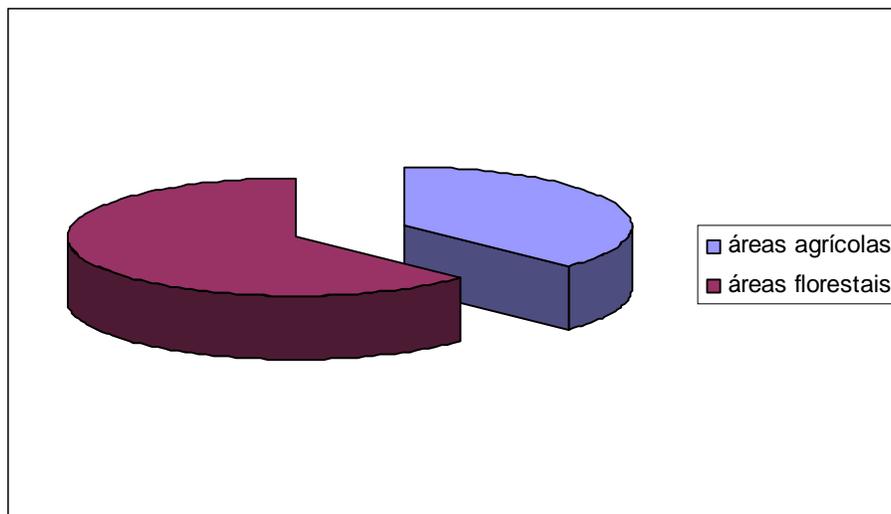


Figura 5 – Distribuição dos seqüestros entre as áreas agrícolas e florestais

A restauração de florestas, através do plantio de mudas de espécies nativas de cada região, além de proteger recursos naturais e restabelecer a biodiversidade, promove o sequestro do carbono na atmosfera, amenizando os problemas decorrentes das emissões de gases do efeito estufa. As árvores em fase de crescimento sequestram uma grande quantidade de carbono para se desenvolver, decaindo à medida que vão ficando mais velhas. Espécies pioneiras são as que mais sequestram carbono por ano, pois tem um ciclo de vida curto. A Fazenda do Zoo vem restaurando áreas visando a recomposição de sua reserva legal e a manutenção de seus mananciais. Todas as áreas de preservação permanente já se encontram reflorestadas.

O consumo de CO₂ de uma planta ocorre através da respiração e na forma de biomassa. Para estimar tal consumo é necessário determinar o quanto a planta utilizou para a respiração, e o quanto foi armazenado de matéria orgânica para compor a sua biomassa. Através da medição da biomassa foi possível calcular o estoque de carbono que ela acumulou durante um determinado tempo, através das trocas de gás carbônico com a atmosfera. Resultados bem variados foram obtidos, dado à diversidade de áreas florestais existentes em diferentes estágios de regeneração.

Muitos são os estudos envolvendo as biomassas acima e abaixo do solo, sub-bosques e serrapilheira de áreas florestais, porém procurou-se adotar dados obtidos a partir de resultados de pesquisa de áreas com as mesmas

características às existentes na Fazenda do Zoo. Observou-se a existência de diversos inventários bem genéricos, porém o estudo procurou se basear em resultados mais específicos, principalmente em relação à idade e espaçamento de florestas, como no caso de eucalipto e pinus. A Figura 6 demonstra a distribuição da biomassa em áreas florestais da Fazenda do Zoo. Foi estimada uma quantidade total de 10.608 toneladas de carbono estocada, sendo 75 % de biomassa acima do solo, 21,75 % de biomassa subterrânea, 0,97 % de sub-bosque e 2,28 % de serrapilheira.

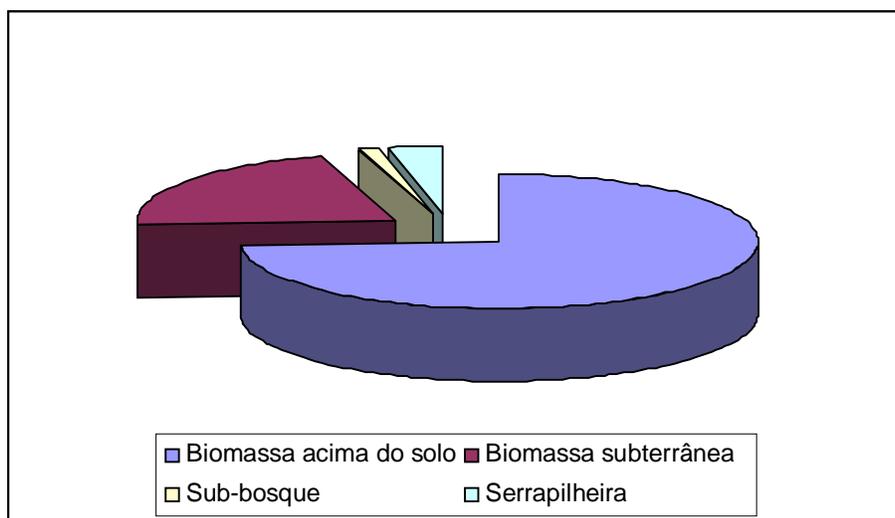


Figura 6 – Distribuição da biomassa em áreas florestais da Fazenda do Zoo

Uma vez o reflorestamento de pinus e eucalipto da Fazenda do Zoo serem muito heterogêneos, com diferentes volumes em parcelas de amostragem, foram adotados valores referenciais de acordo com o trabalho de Flizikowski (2012). Já as informações obtidas sobre o estoque médio de carbono em florestas nativas em diversos estágios de regeneração foram obtidas através do trabalho de vários autores, como Preiskorn (2011), Flizikowski (2012), Torres et al. (2013), Witschoreck (2008), Watzlawick e Caldeira (2004) e Bernardino e Garcia (2009), visando aumentar assim a confiabilidade dos dados. Ao se optar por dados mais específicos, ao invés de dados genéricos que poderiam ser obtidos a partir do IPCC (2006), foi constatado que reflorestamentos mais recentes são mais eficazes no sequestro de carbono atmosférico em relação aos mais antigos.

Como visto, além de fornecer produtos e serviços que promovem o desenvolvimento econômico e social, as florestas oferecem serviços ambientais de inestimável valor para a sociedade. Dentre estes serviços está a absorção e fixação de carbono nas estruturas dos vegetais que compõem a floresta. Por se tratarem de essências comerciais, pinus e eucaliptos deverão ser repostos após o seu corte, a fim de que as quantidades de carbono estocado sejam recuperadas.

Conforme verificado através dos resultados obtidos, o balanço de carbono do setor agropecuário, ao mesmo tempo que emite, captura carbono dentro do sistema produtivo e ao longo da cadeia. Há uma tendência que, com o desenvolvimento tecnológico do setor, a agropecuária poderá reduzir suas emissões e ser o maior fixador de carbono no solo e assim transformar o problema em oportunidade.

7. CONCLUSÕES

- ✓ Sistemas de produção agrícola são capazes de neutralizar as emissões de gases do efeito estufa provenientes de suas atividades.
- ✓ Possibilidade de identificação das principais fontes de emissões e sumidouros de carbono.
- ✓ Dado o caráter multifuncional da Fazenda do Zoo, a planilha de cálculo construída a partir da Metodologia do GHG Protocol da agricultura, pode ser adaptada e aplicada a um bom número de tipos de empresas do setor agrícola, variando de acordo com o número de informações disponíveis em todos os escopos.
- ✓ A restauração florestal e a conservação das matas existentes são amplamente benéficas, pois além de contribuir para a proteção dos recursos naturais e restabelecimento da biodiversidade, promovem o seqüestro de carbono.

- ✓ Orientada pela planilha de cálculo para a quantificação elaborada, a Fazenda do Zoo tem a possibilidade de coletar os dados necessários para o desenvolvimento de um inventário anual, possibilitando assim sempre propor medidas para redução de GEEs, buscando uma melhoria contínua em seu sistema de produção.

8. OPORTUNIDADES DE MELHORIA

Com este inventário verificou-se que a Fazenda do Zoo conseguiu neutralizar a totalidade das emissões de gases do efeito estufa proveniente de suas atividades durante o ano agrícola 2013-2014, período compreendido entre julho de 2013 a junho de 2014.

Apesar da neutralidade verificada, dentro do processo de se estabelecer uma melhoria contínua no sistema de gestão ambiental da Fazenda do Zoo, torna-se possível propor medidas para redução do GEEs – gases do efeito estufa. É necessário ficar atento, principalmente, ao consumo de combustíveis fósseis e fertilizantes nitrogenados pelas suas contribuições na emissão de gases de efeito estufa.

Ações simples, como a otimização de viagens para o transporte da produção agrícola e insumos, podem diminuir o consumo de combustíveis fósseis. No trajeto Fazenda do Zoo – Parque Zoológico é conveniente, após o caminhão transportar os produtos destinados à alimentação animal para São Paulo, retornar à Araçoiaba da Serra com o composto orgânico, produzido na Unidade de Produção de Composto Orgânico, a ser utilizado no plantio de culturas. O acondicionamento do material poderia ser feito em grandes sacos (“bags”) para facilitar o manuseio e evitar contaminações na carroceria do veículo.

O estabelecimento de um planejamento estratégico de localização das lavouras no campo é fundamental para que máquinas e implementos agrícolas circulem pela propriedade de forma racional, economizando não só em combustíveis fósseis, mas também em óleos lubrificantes, pneus, etc. Deve-se levar em consideração a importância de manter estes equipamentos regulados, a fim de evitar desperdícios. A ISO 14.001 implementada já controla esta ação.

Em relação ao consumo de energia, é importante a realização de manutenção em edifícios, além da própria rede elétrica. Alternativas de energia limpa, renovável, devem continuar a serem utilizadas. Dentro de uma nova filosofia, edifícios já vêm sendo construídos visando um melhor aproveitamento da luz solar.

Comprovada as suas vantagens anteriormente, a utilização de leguminosas como adubo verde deve ser implementada em uma maior área da Fazenda do Zoo, podendo ser utilizadas espécies apropriadas para os plantios de verão e inverno.

Como visto, a análise do solo é fundamental para se estabelecer os níveis adequados dos nutrientes necessários às plantas. Tal prática já é uma constante dentro do programa de monitoramento de fertilidade do solo, que, ao lado do manejo integrado de insetos, moléstias e plantas invasoras, também já fazem parte do Sistema de Gestão Ambiental da Fazenda do Zoo.

Assim como acontece com os vegetais, os animais devem a continuar a receber uma dieta balanceada, elaborada de acordo com as suas exigências nutricionais. Tal fato, aliado a um rigoroso planejamento sanitário, garantem excelentes condições de bem estar ao plantel da Fundação, e, assim, emissões de metano dentro da normalidade.

A Fazenda do Zoo, através de programas de parceria com empresas que necessitam realizar compensações ambientais, vem reflorestando áreas visando a recomposição de sua reserva legal. Atualmente, a área necessária para completar os 20 % previstos pelo código florestal é de cerca de 70 ha. Tendo-se em vista os resultados apresentados, diante de tal ação, há uma expectativa grande que a quantidade de carbono sequestrado seja aumentada consideravelmente ao longo dos anos.

A metodologia para cálculo das emissões e sequestros, feita a partir de fatores globais deve ser continuamente aperfeiçoada buscando sempre informações mais específicas, levantadas pontualmente.

Diante do estabelecimento de práticas que conduzem o sistema de produção atual para uma agricultura de baixo carbono, há uma preocupação de difundir a tecnologia adotada, através do já atuante projeto de educação “A Fazenda do Zoo como instrumento de ensino”. A Fazenda do Zoológico de São Paulo é um laboratório vivo, onde a Fundação Parque Zoológico de São Paulo incentiva e abre as portas para que seu potencial educativo possa ser explorado pela comunidade

científica, escolar e do entorno, a fim de agregar e difundir conhecimento a cerca de temáticas ambientais, sustentáveis e conservacionistas.

9. REFERÊNCIAS

ABROMOVAY, R. Desigualdades e limites deveriam estar no centro da Rio +20. Dossiê de Sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.26, n.74, p.21-34, 2012.

AMADO, T. J. C. **Matéria orgânica do solo no sistema de plantio direto: a experiência do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2002.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; PINTO, H. S. **Sustentabilidade no agronegócio brasileiro**: coleção de estudos sobre diretrizes para uma economia verde no Brasil. 2012. Disponível em: < <http://fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-655.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.064**: 2007: gases de efeito estufa. 2007.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.60, p.77-87, 2009.

BLAINEY, B. **Uma breve história do século XX**. 2. ed. São Paulo: Fundamento Educacional, 2008.

BRANDÃO, F. S. et al. O papel do agronegócio brasileiro na redução de emissão de gases de efeito estufa (GEES). **Revista Agro@ambiente on-line**, Roraima, v. 6, n. 1, p. 84-90, jan./abr. 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**: informações gerais e valores preliminares. 2009. Disponível em: <http://ecen.com/eee75/eee75p/inventario_emissoes_brasil.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2015.

BRASIL. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0226/226591.pdf>. Acesso em: 26 set. 2014.

BRAZILIAN CARBON BUREAU (BCB). **Inventário Corporativo de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) da ABIMAQ - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos**. 2011. Disponível em: <<http://www.conselhos.org.br/Arquivos/Download/Upload/99.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2013.

CECHIN, A.; PACINI, H. Economia verde: porque o otimismo deve ser aliado ao ceticismo da razão. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 121-135, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo. **Comunicação Estadual**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 2011.

CORDEIRO, L. A. M. et al. **O aquecimento global e a agricultura de baixa emissão de carbono**. Brasília, DF: MAPA/EMBRAPA/FREDAPDP, 2012. 75 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. Relatórios de referência. Emissões de óxido nitroso (N₂O) provenientes de solos agrícolas. 2006. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8848.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) **Proposta de atualização da segunda edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2012. Disponível em <<http://hotsites.cnps.embrapa.br/blogs/sibcs/wp-content/uploads/2012/10/DOC-140-Atualizacao-SiBCS-20121.pdf>>. Acesso em 25 nov.2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**.

Relatórios de referência. Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos. 2011. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0209/209485.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2013.

FLIZIKOWSKI, L.C. **Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces). **Programa brasileiro de GHG protocol**. 2013. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/>>. Acesso em: 6 mai. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers**. Geneva: IPCC, 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/SPM2FEB07.PDF>>. Acesso em: 03 jun. 2013.

INSTITUTO DE MANEJO E CERTIFICAÇÃO FLORESTAL E AGRÍCOLA (IMAFLOA). **Análise de evolução das emissões de GEE no Brasil (1990-2012)**. São Paulo: Observatório do Clima, 2014, 32 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Carbono e Vida**. De onde veio e para onde vai o carbono que faz parte do nosso corpo? 2011. Disponível em: <www.ccst.inpe.br/videos/carbonoevida>. Acesso em: 10 jun. 2014.

LACERDA, J. S. et al. Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. **METRVM**, Piracicaba, v. 5, p. 1-23, 2009.

LEFF, E. **Saber ambiental**: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder. Petrópolis: Vozes, 2001.

MAALOUF, D. W. **Recursos humanos e desenvolvimento agrícola sustentado**. São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf. 1993.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; DERPSCH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas**. Curitiba: ACARPA, 1984.

MEDEIROS, G.A.; DANIEL, L.A. Responsabilidade Ambiental: neutralização do carbono gerado pelos alunos da Faculdade de Tecnologia de Indaiatuba - SP. **Revista Reverte**, Indaiatuba, n. 7, 2011. Disponível em: <http://www.fatecindaiatuba.edu.br/reverte_online/7aedicao/Artigo1.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2013.

MORGAN, A. et al. **Semeando sustentabilidade**: colaboração Brasil - Reino Unido sobre agricultura de baixo carbono. Brasília, DF: Embaixada Britânica, 2011. 48 p.

NASCIMENTO, E. A. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 51-64, 2012.

PÉRICO, E. et al. Efeitos da fragmentação de habitats sobre comunidades animais: utilização de sistemas de informação geográfica e de métricas de paisagem para seleção de áreas adequadas a testes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005.

PES, L. Z. **Fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no planalto do Rio Grande do Sul**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola-Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

PREISKORN, G.M. **Composição florística, estrutura e quantificação do estoque de carbono em florestas restauradas com idades diferentes**. 2011. 130 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1990.

RODRIGUES, J. A. **Inventário de Emissões de GEE 2013. 2014**. Disponível em: <[http://www.souzacruz.com.br/group/sites/sou_7uvf24.nsf/vwPagesWebLive/DO88VSD6/\\$FILE/medMD9HSNH3.pdf?openelement](http://www.souzacruz.com.br/group/sites/sou_7uvf24.nsf/vwPagesWebLive/DO88VSD6/$FILE/medMD9HSNH3.pdf?openelement)>. Acesso em: 18 abr. 2015.

SABOURIN, E. Políticas públicas de desenvolvimento sustentável e reciprocidade. **Raízes**, Brasília, DF, v. 31, n. 2, 2011.

SACHS, I. De volta à mão invisível: os desafios da Segunda Cúpula da Terra no Rio de Janeiro. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 7-20, 2012.

SANQUETTA, C.B.; BALBINOT R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.B.; BALBINOT R., ZILIO, M. **Fixação de carbono: atualidades projetos e pesquisas**. Curitiba: UFPR/ECOPLAN. 2004. p. 77-93.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 13.798, de 09 de novembro de 2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, Poder Executivo, 10 nov. 2009. Seção I, n. 209, p. 1.

TORRES, C.M.M.E. et al. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 4, p.647-655, 2013.

VALERI, S. V.; SENÔ, M. A. A. F. A importância dos corredores ecológicos para a fauna e a sustentabilidade de remanescentes florestais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL, 7., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Imprensa Oficial, 2004. v. 1, p. 699-709.

WALKER, W.; et al. **Guia de Campo para Estimativa de Biomassa Florestal e Estoque de Carbono**. Falmouth: Centro de Pesquisas Woods Hole. Massachusetts, 2011. p. 1 – 72.

WATZLAWICK, L.F.; CALDEIRA M.V.W. Estimativa de biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. **Biomassa & Energia**. Viçosa, v. 1, n. 4, p.371-380, 2004.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V. Estimativa do carbono da serapilheira em florestas de eucalipto de diferentes idades. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 9., 2003, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata: Prefeitura Municipal, 2003.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **Metodologia do GHG protocol da agricultura**. 2013. Disponível:
<<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Metodologia.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2015.