UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Compensação florestal na construção civil:

estudo de caso na obra do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF)

Estudante: Thaís Silveira Hagale, matrícula: 07/38565

Orientador: Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale

Projeto de pesquisa apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília – DF, dezembro de 2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Compensação florestal na construção civil:

estudo de caso na obra do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF)

Estudante: Thaís Silveira Hagale, matrícula 07/38565

Menção: _____

Aprovado por:

_____

Profa. Alba Valéria Rezende

Membro da banca

_____

Profa. Maria Vitória Duarte Ferrari Tomé

Membro da banca

_____

Prof. Ailton Teixeira do Vale

Orientador

Brasília, 13 de dezembro de 2011

DEDICATÓRIA

A Deus

Aos meus pais

A minha família

Aos amigos que convivi

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale, por apoiar e orientar meus passos neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Gurgel, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, que tornou possível a multidisciplinaridade necessária para o desenvolvimento desta monografia.

Á Profa. Dra. Alba Valéria Rezende, pelo estudo realizado durante a sua tese que agregou informações importantes a este estudo.

Ao Eng. Civil Sr. Jerônimo Vanzellotti, que despertou em mim a percepção da sustentabilidade na construção civil.

Aos Eng. Civis Sr. Lucas Rachid e Sr. João Brabo, que demonstraram singular paciência e gentileza na disponibilização dos dados para o estudo de caso.

Ao Consórcio VIA-OAS e á cimenteira CIPLAN, que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao Daniel Freitas, Felipe Luis Matos, Marcos Bauch, Rodrigo Souza e Werner Gonçalves do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por compartilharem comigo as ansiedades do último ano de curso, pelas várias conversas, idéias e incentivos dados.

Aos meus pais e irmã, por me encorajarem e estarem ao meu lado nos cinco anos de curso e, graças a Deus, agora neste momento de realização.

A minha família, em especial ao meu avô Geraldo Silveira, pelos valores ensinados e principalmente por me fazer ter uma das coisas mais importantes, que sem ela não chegaria aonde estou, me ensinou a ter fé.

Aos amigos e com carinho ao meu namorado, pela companhia e conforto nessa caminhada.

A todos que mesmo não mencionados fizeram parte seja pelo incentivo ou orientações para o desenvolvimento deste trabalho.

“Sei que ainda vou voltar
Vou deitar à sombra
De uma palmeira que já não há
Colher a flor que já não dá”

Tom Jobim (Sabiá)

RESUMO

Avaliou-se a efetividade da compensação florestal vigente no Distrito Federal, de acordo com Decreto n° 14.783/93, aplicando-se a um estudo de caso na construção civil a fim de propor uma nova alternativa que considere também as emissões de dióxido de carbono envolvidas em algumas etapas do ciclo de vida de uma edificação além do estoque de carbono presente nas árvores suprimidas. As quantificações das emissões de CO_2 se estabeleceram nas etapas de transporte de cimento e concreto até o campo de obra, máquinas utilizadas durante a obra e o balanço negativo proveniente da supressão dos indivíduos florestais presentes na área em que o empreendimento iria se estabelecer. No componente transporte e máquinas, a partir do consumo de diesel foi determinada a quantidade emitida de CO_2 em função da reação de combustão incompleta do combustível. O estoque de carbono presente na área, anterior a supressão da vegetação, foi obtido pela equação $C = 0,24564 + 0,01456Db^2Ht$ (REZENDE *et al*, 2006) que se aplica a área de cerrado *sensu stricto.* Na análise da efetividade da compensação florestal, foi realizada a prognose do estoque de carbono para dez espécies em intervalos múltiplos de dois anos, até atingir a idade máxima de 20 anos, em uma área de cerrado *sensu stricto* sob o impacto de corte com motosserra e retirada da lenha. Foi verificado um melhor desempenho quanto ao sequestro de carbono nas espécies *Blepharocalyx salicifolius* e *Miconia pohliana* em comparação as outras oito espécies analisadas. Considerando a compensação florestal determinada por Decreto para este estudo de caso, nas dez espécies analisadas, aos 20 anos, teria um máximo de carbono estocado de 41073,08 kg para *Blepharocalyx salicifolius* e um valor mínimo de 4098,89 kg para a espécie arbustiva *Eremanthus glomerulatus*. Esses valores são respectivamente 1,44% e 0,14% da emissão total gerada quantificada. Ressalta-se que o trabalho desconsiderou várias outras fontes de emissão de gases do efeito estufa, considerando-se a hipótese de que a emissão proveniente da obra seja bem superior à quantificada. A realização de novos trabalhos é indicada a fim de consolidar e validar as informações obtidas por este estudo e se possível agregar novos fatores que aqui não foram considerados. Um aprofundamento também quanto às espécies nativas que possuam melhor desempenho em estoque de carbono pode propiciar ganhos ambientais quando definida a compensação florestal.

Palavras-chave: Compensação florestal. Distrito Federal. Decreto n° 14.783/93. Construção civil. Cerrado *sensu stricto.* Emissão de dióxido de carbono. Estoque de carbono.

ABSTRACT

The effectiveness of current forest clearing in the Federal District was evaluated, according to Decree No. 14.783/93, applying to a study case in a construction to verify how much carbon dioxide emissions involved in the life cycle of a building can enhance the impact and make the forest clearing insufficient. The measurements of CO_2 emissions settled on the steps of cement and concrete transportation to the field work, machinery used during construction and the negative balance from the supression of forest individuals in the area where the project would be established. In the transport and machinery component,from the diesel consumption was defined the issued quantity of CO_2 depending on the reaction of incomplete combustion of the fuel. The carbon present in the area was obtained by the equation $C = 0.24564 + 0.01456\ Db^2\ Ht$ (REZENDE *et al*, 2006) that applies to cerrado area *sensu stricto*. In analyzing of effectiveness of forest clearing, the prognosis was made of carbon stock for ten species in multiple intervals of two years,until reaching the maximum age of 20 years, to a cerrado area *sensu stricto* under the impact of chainsaw cutting and removal of firewood. It was verified a better performance about the carbon sequestration in *Miconia pohliana* and *Blepharocalyx salicifolius* species, comparing to eight other species. Considering the forest compensation determined by Decree for this case study, the ten species analyzed, at 20 years old, would have a maximum of 41,073.08 kg of carbon stored for *Blepharocalyx salicifolius* and a low of 4098.89 kg for the shrub species *Eremanthus glomerulatus*. These values are respectively 1.44% and 0.14% of total generated emission quantified. It is emphasized that this paper dismissed several other sources of emitters of greenhouse gases, which predicts that the emission from the construction is much higher than measured. The need for new research is indicated to consolidate and validate the information obtained by this study, and if possible, to add new factors that were not considered here. A detailed assessment of the native species that have better performance in carbon stocks can also provide environmental benefits when defined the forest clearing.

Keywords: Forest clearing. Federal District. Decree No. 14.783/93. Construction. Cerrado *sensu stricto*. Emission of carbon dioxide. Carbon stock.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cenários de emissões mundiais de GEE (Gt CO2-eq anuais) entre 2000 e 2100 em ausência de políticas climáticas adicionais. Seis exemplos de cenários previstos (linhas coloridas) e 80% dos cenários recentemente publicados (área sombreada em cinza). A linha tracejada indica a gama completa de cenários pós-IEEE. As emissões de GEE contemplam os gases CO2, CH4 y N2O e gases-F (IPCC-AR4, 2007). 4

Figura 2. Ciclo de vida das Edificações adaptado (Athenas, 2011). 7

Figura 3. Imagem aérea da obra do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF). Limite da obra em vermelho. Fonte: Google Earth, 2008. 10

Figura 4. Diagrama representativo das atividades desenvolvidas na monografia. 11

Figura 5. Etapas selecionadas do ciclo de vida de uma edificação a fim de quantificar as emissões de dióxido de carbono envolvidas. 12

Figura 6. Diagrama representativo do transporte quando a fonte provedora foi a concreteira. 17

Figura 7. Linha de tendência do consumo de cimento (kg.m-3) para diferentes resistências características do concreto à compressão (Fck). Fonte: Autora. 24

Figura 8. Trajeto entre a Cimenteira (CIPLAN) e a nova sede do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF), linha em azul. Fonte: Google Maps, 2011. 25

Figura 9. Trajeto entre a nova sede do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF) e a Cimenteira (CIPLAN), linha em azul. Fonte: Google Maps, 2011. 26

Figura 10. Trajeto entre a fábrica da CIPLAN e a concreteira filiada, linha em azul. Fonte: Google Maps, 2011. 27

Figura 11. Trajeto entre a concreteira filiada e a fábrica da CIPLAN, linha em azul. Fonte: Google Maps, 2011. 28

Figura 12. Trajeto entre a concreteira filiada da CIPLAN e a nova sede do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF), linha em azul. Fonte: Google Maps, 2011. 29

Figura 13. Trajeto a nova sede do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF) e a concreteira filiada da CIPLAN, linha em azul. Fonte: Google Maps, 2011.....29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação de máquinas e horas de trabalho necessárias para a construção da nova sede do TSE/DF entre o período de julho de 2007 a abril de 2011. 12

Tabela 2. Demanda de concreto na obra do TSE/DF. 13

Tabela 3. Consumo de cimento para diferentes resistências características do concreto à compressão (Fck). 14

Tabela 4. Máquinas utilizadas no transporte de cimento e concreto pela cimenteira 15

Tabela 5. Inventário Florestal 100% do estrato arbóreo-arbustivo a ser suprimido. 19

Tabela 6. Incremento periódico anual em diâmetro (IPADb) obtido para as espécies de maior densidade, amostradas nas áreas do cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa (UnB), DF, submetidas aos tratamento 1, no período de monitoramento de 1995 a 2000. 21

Tabela 7. Número de árvores por hectare, diâmetro médio da base (cm) e altura média (m) para espécies encontradas no cerrado da Fazenda Água Limpa (UnB), DF. 22

Tabela 8. Emissões de dióxido de carbono por máquina utilizada durante o período de julho de 2007 a abril de 2011 na obra da nova sede do TSE/DF. 23

Tabela 9. Consumo de cimento (kg.m-3) para diferentes resistências características do concreto à compressão. 24

Tabela 10. Quantidade de cimento (kg) transportado da cimenteira ao campo de obras da nova sede do TSE/DF. 25

Tabela 11. Emissões de dióxido de carbono provenientes do transporte de cimento da cimenteira ao campo de obras da nova sede do TSE/DF. 27

Tabela 12. Quantidade de cimento transportado (kg) da cimenteira à concreteira filiada da CIPLAN. 27

Tabela 13. Emissões de dióxido de carbono provenientes do transporte de cimento da fábrica da CIPLAN (Cimenteira) á concreteira filiada. 28

Tabela 14. Número de viagens necessárias entre a concreteira e a nova sede do TSE/DF. 29

Tabela 15. Quantificação das emissões de dióxido de carbono no componente transporte de concreto da concreteira ao campo de obras da nova sede do TSE/DF. 30

Tabela 16. Estoque de carbono presente na comunidade lenhosa (Db = 6,37cm, Ht = 2,5m) do cerrado *sensu stricto* suprimido para implantação da nova sede do TSE/DF. 30

Tabela 17. Emissões totais de dióxido de carbono (kg) nos componentes analisados 31

Tabela 18. Compilação de dados obtidos na tese de REZENDE (2002) e VALE (2000). 32

Tabela 19. Quantidade de carbono estocado (kg) por espécie em áreas do cerrado *sensu stricto* submetidas ao tratamento 1, em intervalos de dois em dois anos, para um período de 20 anos. 34

Tabela 20. Comparação entre a prognose do estoque de carbono (kg) por indivíduo para áreas de cerrado *sensu stricto* submetido ao tratamento 1, em intervalos de dois em dois anos, para o período de 12 a 20 anos de idade. Dados obtidos por REZENDE (2002) e Autora..... 34

Tabela 21. Quantidade de indivíduos necessários por espécie a serem plantados em intervalos múltiplos de dois anos, para o período de 10 a 20 anos, para áreas de cerrado *sensu stricto* submetido ao tratamento 1 para compensar uma emissão de 2.790.221,28 kg de CO2..... 37

Tabela 22. Quantidade de carbono estocado (kg) para 4980 indivíduos de cada espécie em intervalos múltiplos de dois anos, para o período de 10 a 20 anos, para áreas de cerrado *sensu stricto* submetido ao tratamento 1. 37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

2. OBJETIVO 2

3. LIMITAÇÕES 2

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3

4.1 Efeito Estufa e consequências 3

4.2 Cenário da construção civil 5

4.3 Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações 6

4.4 Compensação ambiental 7

4.5 Contexto legal no Distrito Federal 8

4.6 Biomassa no Cerrado 9

5. MATERIAL E MÉTODOS 10

5.1 Área de estudo 10

5.2 Estrutura da metodologia 11

5.3 Levantamento das emissões de CO_2 provenientes da obra 11

5.3.1 Máquinas 12

5.3.2 Transporte de Cimento e Concreto 13

5.3.2.1 Demandas de concreto 13

5.3.2.2 Conversão para quantidade de cimento demandado 14

5.3.2.3 Veículos utilizados no transporte 15

5.3.2.4 Distâncias percorridas 15

5.3.2.5 Fonte provedora: cimenteira 15

5.3.2.6 Fonte provedora: concreteira 16

5.3.3 Conversão do consumo de diesel em emissão de dióxido de carbono 17

5.4 Levantamento do estoque de carbono nas espécies suprimidas 18

5.5 Efetividade da compensação ambiental 20

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 23

6.1 Estimativa das emissões de CO_2 durante obra 23

6.1.1 Máquinas 23

6.1.2 Transporte de Cimento e Concreto 23

6.1.2.1 Traços de concreto 23

6.1.2.2 Fonte provedora: cimenteira 24

6.1.2.3 Fonte provedora: concreteira 26

6.1.2.3.1 Transporte 1: CIPLAN - concreteira 26

6.1.2.3.2 Transporte 2: Concreteira – TSE/DF 28

6.2 Levantamento do estoque de carbono nas espécies suprimidas 30

6.3 Emissões de dióxido de carbono provenientes dos componentes quantificados e da vegetação suprimida 31

6.4 Estoque de carbono para as espécies analisadas 32

6.5 Estudo de caso: Análise da efetividade da compensação florestal 35

7. CONCLUSÕES 38

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS 38

9. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 39

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 40

1. INTRODUÇÃO

Uma das referências mais citadas nas discussões quando o assunto são as mudanças climáticas é o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) que tem publicado diversos relatórios e pareceres técnicos com evidências científicas de que as mudanças climáticas se devem às ações humanas.

O IPCC prevê vários modelos climáticos globais baseados em diferentes cenários de concentração de gases do efeito estufa (GEE). As projeções nos relatórios alertam o mundo para o fato de que, caso mantidas as tendências de aquecimento global e a temperatura mundial aumentar em mais de 3,5ºC, extinções massivas (entre 40% e 70% das espécies analisadas no estudo) poderiam ocorrer no mundo todo. Sendo que, no mesmo relatório, as projeções para as mudanças de temperatura previstas para 2090-2099, em função de 1980-1999, estão entre 1,8ºC e 4ºC para os diferentes cenários futuros (IPCC AR-4, 2007).

Enquanto isso, no Brasil, segundo informações vinculadas na mídia, os crescentes investimentos do Governo na construção civil decorrentes do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 1 e 2), dos programas de Moradia Popular e dos eventos esportivos como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016 estimulam e impulsionam este setor que consequentemente tem demandado cada vez mais recursos naturais e intensificado a geração de resíduos, poluição ambiental e emissões de GEE.

Muitas empresas tem buscado aliar desenvolvimento à responsabilidade ambiental implementado proativamente uma importante estratégia, o *marketing* verde. Isso advém de uma necessidade crescente de divulgar aos consumidores que a preocupação ambiental também está sendo levada em consideração, e não somente o fim econômico. Fato que corrobora com essa afirmação são as demandas crescentes por produtos e serviços que incorporam em seu valor a qualidade advindas de certificações ambientais de sistemas de gestão (ambiental, qualidade, saúde e segurança, responsabilidade ambiental, social e riscos) e certificações de desempenho (AQUA, BREAM e LEED).

Neste sentido, o *The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard* (O Protocolo de Gases de Efeito Estufa – Um Padrão Corporativo de Contabilização e Reporte), ou simplesmente GHG Protocol, é hoje a ferramenta mais utilizada mundialmente pelas empresas e governos para entender, quantificar e gerenciar suas emissões de gases do efeito estufa, tornando possível o aperfeiçoamento das formas de monitoramento

das emissões de GEE, além de aprimorar o Sistema de Gestão Ambiental (EPB GHG PROTOCOL, Primeira Edição).

O Art. 225 da Constituição Federal de 1988 impõe ao poder público e à coletividade o dever de defender e garantir a sustentabilidade dos recursos naturais:

> Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Assim, a proposta deste trabalho foi gerar subsídios técnicos para fomentar a melhoria das políticas públicas de controle do Estado nas questões das emissões dos GEE provenientes do setor da construção civil.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo verificar a efetividade e buscar uma nova alternativa para o instrumento de compensação florestal no Distrito Federal, por meio da agregação de fatores como emissões de dióxido de carbono durante o processo de transporte e construção de um empreendimento e pelo balanço negativo proveniente da supressão da vegetação necessária ao seu estabelecimento.

Assim, baseado na construção da nova sede do Tribunal Superior Eleitoral/DF, os objetivos específicos desta monografia foram: (1) levantamento das emissões de CO_2 provenientes da obra; (2) levantamento do estoque de carbono das espécies florestais suprimidas; (3) estimativa da quantidade necessária de indivíduos florestais para a compensação florestal realizar sua função ecológica em relação às emissões; (4) análise da efetividade da compensação florestal atualmente vigente.

3. LIMITAÇÕES

Este estudo encontrou algumas limitações para o seu desenvolvimento, a maioria atrelada à falta de dados que normalmente requeriam contatos com terceiros, seja empreiteira, cimenteira ou concreteira. Assim, para obter essa rede de informações seria necessário um acompanhamento mais detalhado e contínuo a fim de obter resultados mais precisos.

Essa falta de dados impossibilitou uma quantificação mais precisa, já que desconsiderou o transporte de inúmeras outras matérias-primas que também foram demandas para a construção da nova sede, como também desconsiderou serviços terceirizados pelo consórcio, como terraplanagem, já que estas atividades passaram a ser de controle da empresa contratada e não tendo o consórcio informações a respeito do desenvolvimento delas.

Quanto as informações disponibilizadas por uma cimenteira no Distrito Federal, não foi possível obter dados sobre os diferentes traços possíveis na fabricação do concreto, tendo somente informações sobre uma mistura básica com Brita 1 e aditivo polifuncional. Claramente, nem todas as demandas de concreto foram produzidas nestas composições, mas por falta de dados esta informação foi considerada como padrão na fabricação do concreto.

Outro ponto a ressaltar é a questão do inventário florestal, a empresa contratada inventariou a área de acordo com o Decreto n° 14.783/93 que estabelece os critérios mínimos para que o indivíduo florestal passe a constar no memorial descritivo do projeto, sendo estes ter circunferência superior a 20 cm (vinte centímetros) a 30 cm (trinta centímetros) do solo e porte superior a 2,5m. Estes critérios foram as únicas medidas possíveis de afirmar que todos os indivíduos florestais possuíam, já que não se teve informações adicionais sobre as medidas de cada indivíduo inventariado. Assim, a quantificação do estoque de carbono presente na área foi um valor subestimado, mas dentro da credibilidade das suposições que poderiam ser feitas.

Com isso, reforça-se o objetivo deste estudo que foi o de incentivar a discussão acerca da compensação florestal atualmente aplicada no Distrito Federal e propor uma alternativa de metodologia.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Efeito Estufa e consequências

O IPCC foi estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) tendo como objetivo fornecer informações científicas necessárias para abordar os problemas de mudanças climáticas, avaliar as conseqüências ao meio ambiente e socioeconômico, além de embasar estratégias de respostas a essas mudanças (IPCC AR-4, 2007).

Os cenários previstos no Informe Especial do IPCC estão agrupados em quatro famílias (A1, A2, B1, B2). A linha argumentativa A1 pressupõe um crescimento econômico

mundial muito rápido e uma rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias. Esta é dividida em três grupos, que refletem três direções alternativas da mudança tecnológica no sistema energético: intensiva no uso de combustíveis fósseis (A1FI), um cenário pessimista; fontes energéticas de origem não-fóssil (A1T) e o equilíbrio entre as diferentes fontes (A1B). A2 descreve um mundo muito heterogêneo, com um forte crescimento demográfico, o crescimento econômico lento e mudanças tecnológicas lentas, cenário este também pessimista. B1 descreve um mundo convergente, com a mesma população global que A1, mas com uma evolução mais rápida das estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informações, com a introdução de tecnologias limpas e eficientes, cenário mais otimista. B2 descreve um planeta com uma população e crescimento econômico intermediários, mas focada em soluções locais para alcançar a sustentabilidade econômica, social e ambiental.

A partir destes cenários, o IPCC projeta um aumento nas emissões mundiais de gases do efeito estufa (GEE) entre 25% e 90% (CO_2-eq) entre 2000 e 2030 (Figura 1), supondo que os combustíveis de origem fóssil mantenham sua posição predominante no conjunto mundial de fontes de energia até 2030, no mínimo. Outros cenários mais recentes, que não contemplam medidas de mitigação das emissões adicionais, logram resultados similares (IPCC AR-4, 2007).

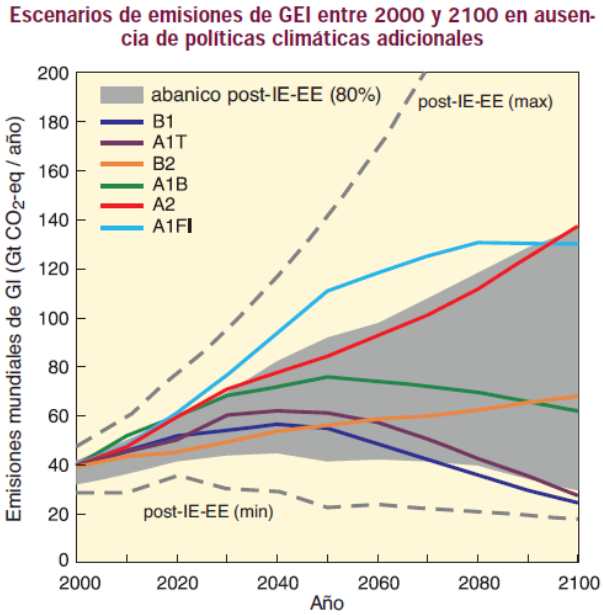

Figura 1. Cenários de emissões mundiais de GEE (Gt CO_2-eq anuais) entre 2000 e 2100 em ausência de políticas climáticas adicionais. Seis exemplos de cenários previstos (linhas coloridas) e 80% dos cenários recentemente publicados (área sombreada em cinza). A linha tracejada indica a gama completa de cenários pós-IEEE. As emissões de GEE contemplam os gases CO_2, CH_4 y N_2O e gases-F (IPCC-AR4, 2007).

Alguns impactos ambientais proveniente deste aumento previsto nas emissões de GEE são projetados para América Latina, entre eles está o aumento de temperatura e, por conseqüência, diminuição da umidade dos solos que intensificará uma substituição gradual das florestas tropicais por savanas no leste da Amazônia. Já a vegetação semiárida também seria progressivamente substituída por vegetação de terras áridas, isto em prazo de até metade deste século. Outros impactos se dariam pela perda de biodiversidade, com extinção de espécies em numerosas áreas da América Latina tropical, como também a diminuição da produtividade de certos cultivos importantes e também da produção pecuária, com conseqüências adversas para a segurança alimentar. Além disso, as mudanças nos padrões de precipitação e o desaparecimento dos glaciais afetarão notadamente a disponibilidade de água para consumo humano, agrícola e hidrelétrico. (IPCC AR-4, 2007).

4.2 Cenário da construção civil

Segundo o Diesse (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos), em um estudo setorial sobre construção no Brasil, foi estimado para o setor um crescimento de 8,5% em 2011, acima do previsto para o PIB deste ano, que está em torno de 4,5%. Em 2010, obteve-se uma taxa de crescimento de 11,6%, o melhor desempenho dos últimos 24 anos, segundo dados do PIB setorial (DIESSE, 2011).

O crescimento do setor é acompanhado ao de consumo dos recursos naturais que são estimados em algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade (SJÖSTRÖM, 1996 *apud* JOHN, 2011). Sendo apontado também como um dos setores da economia que mais gera impactos sobre o ambiente natural (GRIGOLETTI e SATTLER, 2003).

O relatório da empresa de consultoria empresarial americana *McKinsey & Company* estimou para o ano de 2005 uma intensidade de emissões brasileiras de 12 toneladas (t) CO_2e per capita, valor este comparável a de países industrializados europeus com emissões em torno de 10 tCO_2e per capita. Entretanto, com os crescimentos previstos na economia brasileira, a intensidade de emissões deve aumentar para 14 tCO_2e per capita em 2030. Globalmente, as principais fontes de emissão de GEE são produzidas pela geração de energia e transporte, que, somados, representam cerca de 40% das emissões para 2030 (McKINSEY, 2009).

A empresa de consultoria Ativos Técnicos e Ambientais (ATA) elaborou em 2009 um levantamento para um edifício de escritórios em São Paulo, chegando a resultados para as emissões anuais de GEE ocorridas durante a construção de 150,48 $kgCO_2e.m^{-2}$, valor bem inferior as emissões anuais de gases de efeito estufa da energia consumida no período de uso do imóvel de 3,6 $kgCO_2e.m^{-2}$ (ATA, 2009).

4.3 Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), descrita na NBR ISO 14.040 seus princípios e estrutura, é uma das técnicas de gestão ambiental usada para avaliar os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto (isto é, do "berço ao túmulo"), sendo que os aspectos e impactos econômicos e sociais estão, tipicamente, fora do escopo da ACV (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Os estudos de ACV compreendem quatro fases: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impacto; e, interpretação. Os resultados da ACV são importantes nos processos decisórios, além de auxiliar na identificação dos aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida que auxiliam no desenvolvimento e aperfeiçoamento do produto, como também no planejamento estratégico, marketing e elaboração de políticas públicas (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

A NBR ISO 14.044 especifica os requisitos e provê orientações para o desenvolvimento de uma ACV. Entre as recomendações, destaca-se a especificação da função e unidade funcional fornencendo assim uma referência em relação à qual dados de entrada e saída são normalizados e também a definição da fronteira do sistema, com quais processos elementares devem ser incluídos como fluxo de massa, energia e significância ambiental (ABNT NBR ISO 14044, 2009)

Os tipos e fontes de dados a serem selecionados para a ACV dependem do objetivo e escopo do estudo. Quando o objetivo se desenvolve em função das emissões atmosféricas, as emissões de monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio podem ser identificados separadamente. A qualidade dos dados devem especificar certos requisitos, como: cobertura temporal, cobertura geográfica, cobertura tecnológica, precisão, completeza, representatividade, consistência, reprodutibilidade, fonte dos dados e incerteza da informação (ABNT NBR ISO 14044, 2009).

Assim, aplicando-se á construção civil, a ACV considera os impactos provenientes das diversas etapas do processo de edificação, agregando os impactos envolvidos na fase pré-operacional (extração das matérias-primas, fabricação e construção), fase operacional (uso e manutenção) e fase pós-operacional (demolição, reciclagem e deposição), Figura 2.

Figura 2. Ciclo de vida das Edificações adaptado (ATHENAS, 2011).

HANSEN e PETERSEN (1998) *apud* SPERB (2000), afirmam que o surgimento de vários métodos específicos para materiais de construção deve-se a constatação do elevado consumo destes materiais, e dos gastos energéticos, das emissões de poluentes, dos resíduos sólidos, dentre outros fatores associados ao seu ciclo de vida, sendo todos responsáveis pela geração de impactos ambientais.

4.4 Compensação ambiental

De acordo com o Direito Ambiental, o termo compensação é utilizado para veicular diferentes formas de se contrabalançar uma perda ambiental (BECHARA, 2008).

Assim, diante da impossibilidade de se evitar o dano, as medidas compensatórias servem para oferecer à coletividade um resultado compensatório pelos prejuízos que certamente serão causados pela atividade (RODRIGUES, 2007).

RODRIGUES (2007) afirma ainda que “as técnicas reparatórias ofertam um ressarcimento *in natura* ou *in pecúnia*, sendo que a escolha sempre deverá recair sobre a primeira, pois, em matéria ambiental, é mais importante um resultado que restaure ou reconstitua, com a maior proximidade possível, a situação anterior. Caso nem isso seja

possível, servirá a indenização pecuniária como forma subsidiária e residual de reparação pelos danos ambientais".

4.5 Contexto legal no Distrito Federal

O Artigo 8º do Decreto nº 14.783, de 17 de junho de 1993, que dispõe sobre o tombamento de espécies arbóreo-arbustivas no território do Distrito Federal e dá outras providências, estabelece formas de compensação ambiental quando o transplantio da espécie florestal é impossibilitado:

> Art. 8° - Nos casos de impossibilidade técnica de transplantio, adotar-se-ão medidas de compensação de cada espécimen suprimido.
>
> § 1 ° - A compensação dar-se-á mediante plantio de mudas nativas em local a ser determinado:
>
> I - pela NOVACAP na Região Administrativa I;
>
> II - pelas Administrações Regionais, ouvida a NOVACAP, nas demais Regiões Administrativas.
>
> § 2° - A erradicação de um espécimen nativo acarretará o plantio de 30 (trinta) mudas de espécies nativas.
>
> § 3° - A erradicação de um espécimen exótico acarretará o plantio de 10 (dez) mudas de espécies nativas.
>
> § 4° - Nos casos de insucesso de transplantio, tal como determinado no art. 8° do presente decreto, aplicar-se-ão os critérios de compensação de replantio definidos no caput deste artigo.
>
> § 5° - A data de replantio será arbitrada segundo os critérios técnicos adotados pela NOVACAP, que informará aos interessados a localização dos espécimens transplantados, uma vez concluída a operação.
>
> § 6° - Os custos de replantio - tal como os de transplantio definidos no Parágrafo único do art. 5° - serão estabelecidos pela NOVACAP, que recolherá as importâncias arbitradas à sua tesouraria.

O Decreto n° 23.585 de 5 de fevereiro de 2003 alterou dispositivos do parágrafo 2º e 3º do Artigo 8º do Decreto nº 14.783/93, que passaram a vigorar com a seguinte redação:

> § 2º. A erradicação de um espécimen nativo ou de um espécimen exótico, acarretará ao seu responsável, a obrigatoriedade do plantio de 30 (trinta) e 10 (dez) mudas, respectivamente, de espécies nativas, podendo essa quantidade, a critério da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, ser reduzida em até 50% (cinqüenta por cento), atendidas as seguintes condições:
>
> I – a redução será Autoraizada pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos mediante compensação;
>
> II – a compensação de que trata o Inciso I, será revertida em benefício do meio ambiente, dos Parques Ecológicos e de Uso Múltiplo e das Unidades de

> Conservação do Distrito Federal na forma de prestação de serviço, doação de equipamento e/ou execução de obras por intermédio de acordo formal;
>
> III – a contrapartida será prestada em valores que se igualem ao custo total do plantio das mudas não compensadas considerando para tal, a aquisição das mudas, a abertura das covas, adubação e acompanhamento até 02 (dois) anos depois do plantio;
>
> IV – 03 (três) orçamentos do plantio das mudas praticados por empresas especializadas e legalmente constituídas no Distrito Federal serão submetidos à apreciação e à aprovação da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e, somente depois de definido seu valor, será firmado acordo escrito para efetivar a compensação na forma prevista no inciso II.

Essa medida abriu pressuposto para não haver a compensação *in natura* total, sendo esta passível de substituição por serviços, produtos e até execução de obras. Essa alteração no Decreto de nº 14.783/93 vem em contraposição à idéia defendida por RODRIGUES (2007) de que é preferível compensar um dano fazendo com que fique mais próxima a situação anterior ao impacto.

4.6 Biomassa no Cerrado

O Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (2002) estimou a densidade da biomassa (combustível fino) do Cerrado brasileiro em diferentes fitofisionomias, sendo encontrado valores para a fisionomia de campos de 7,2 $Mg.ha^{-1}$, para o cerradão de 7,6 $Mg.ha^{-1}$ e já no cerrado *sensu stricto* de 9,4 $Mg.ha^{-1}$.

CASTRO e KAUFFMAN (1998) estimaram a biomassa aérea também para diferentes fitofisionomias do Cerrado, obtendo para o Campo Limpo 5,5 $\pm$0,3 $Mg.ha^{-1}$, Campo Sujo 9,3 $\pm$0,8 $Mg.ha^{-1}$, Cerrado Aberto 24,8 $\pm$2,5 $Mg.ha^{-1}$ e Cerrado Denso 29,9 $\pm$ 2,9 $Mg.ha^{-1}$.

Em estudo realizado no Distrito Federal, na Fazenda Água Limpa (FAL) de propriedade da Universidade de Brasília (UnB), estimou-se uma produção de biomassa seca de 12,39 $Mg.ha^{-1}$ para o Cerrado, sendo a área predominantemente de cerrado *sensu stricto* e considerando também apenas o tronco acima de 5 cm de diâmetro a 30 cm do solo e galhos acima de 3 cm de diâmetro na base. (VALE *et al*, 2002).

REZENDE *et al* (2006) em estudo realizado na mesma área, Fazenda Água Limpa (UnB), encontraram variáveis de biomassa seca e estoque de carbono com produtividade média de 9,85 $\pm$ 1,08 $Mg.ha^{-1}$ e 4,93 $\pm$ 0,54 $Mg.ha^{-1}$, respectivamente.

Um levantamento da fitomassa dos estratos arbóreo e herbáceo-arbustivo da área de influência direta do aproveitamento hidrelétrico Corumbá IV, promovido pela EMBRAPA (2005), determinou para a área de interesse uma biomassa de 23,38 $Mg.ha^{-1}$, sendo considerado o peso da casca, folha e galhos inferiores a 3cm, por isso resultando em um valor maior comparado ao encontrado por VALE *et al* (2002) e REZENDE *el al* (2006).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

O empreendimento selecionado para o desenvolvimento deste trabalho foi a obra de construção da nova sede do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF), a qual as empresas VIA Engenharia S.A e Construtora OAS LTDA, formadoras do Consórcio VIA-OAS, venceram a licitação TSE N.º 005/2007 (Figura 3).

Figura 3. Imagem aérea da obra do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF). Limite da obra em vermelho. Fonte: *Google Earth*, 2008.

O projeto arquitetônico da sede foi realizado por Oscar Niemeyer e sua implantação teve início em 2 de abril de 2007. A obra é composta por um prédio principal de 10 pavimentos dotados de cobertura e restaurante, um subsolo geral para 1200 veículos, área térrea, anexo, dois auditórios e um plenário, totalizando aproximadamente 115.578 m² de área construída.

A obra está localizada no Setor de Administração Federal Sul (SAF Sul - Quadra 07, lotes 01 e 02) e de acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial – PDOT (Lei

Complementar 17/1997) disposto em uma Zona Urbana de Consolidação. Possui uma área total de 54.000 m², com topografia relativamente plana e declividade variando de 5 a 10%. A fitofisionomia existente anteriormente à supressão da vegetação era o cerrado *sensu stricto*, visto que na época da implantação do SAF Sul a vegetação nativa foi suprimida para a construção das sedes dos órgãos institucionais, que por ventura se instalariam no local. Com isto, infere-se que as espécies nativas inventariadas no Memorial descritivo referente à obra se desenvolveram por meio da regeneração natural e os exóticos foram plantados no período de urbanização da área (Memorial descritivo da nova sede do TSE/DF).

A escolha da nova sede do TSE/DF como obra-referência para esta monografia foi determinada pelo destaque ambiental dado ao empreendimento, que recebeu a certificação internacional ISO 14.001, se tornando a primeira obra no Distrito Federal a possuir esta marca.

5.2 Estrutura da metodologia

As atividades propostas neste trabalho foram desenvolvidas em três frentes: levantamento das emissões de CO_2 provenientes da obra, levantamento do estoque de carbono presente nas espécies florestais suprimidas e estimativa da quantidade necessária de indivíduos florestais para a compensação florestal realizar sua função ecológica em relação às emissões quantificadas (Figura 4).

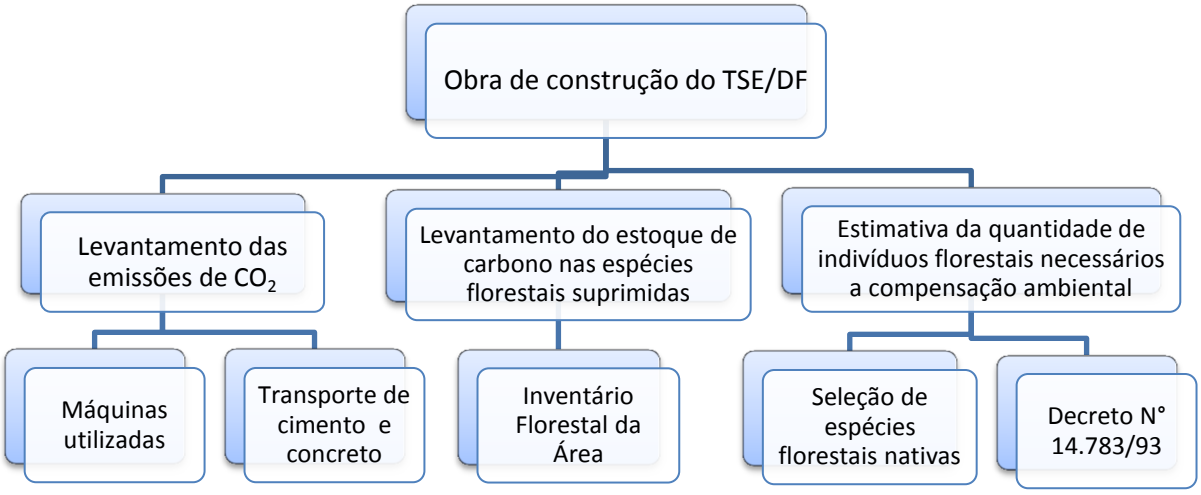

Figura 4. Diagrama representativo das atividades desenvolvidas na monografia.

5.3 Levantamento das emissões de CO_2 provenientes da obra

É notório que em função do ciclo de vida de uma edificação (Figura 2) há diversos pontos onde há emissões de dióxido de carbono, mas por impossibilidade de dados para embasar estas quantificações, esta monografia focou nas etapas de transporte da fábrica até a construção e durante a própria construção (Figura 5).

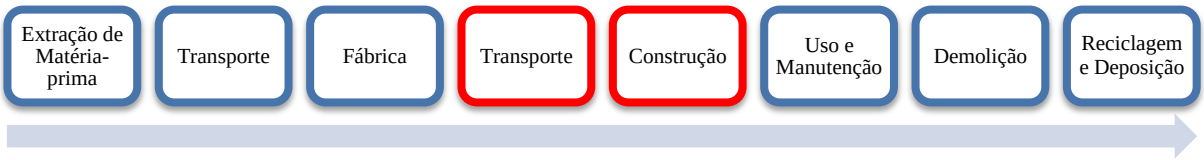

Figura 5. Etapas selecionadas do ciclo de vida de uma edificação a fim de quantificar as emissões de dióxido de carbono envolvidas.

A quantificação das emissões de dióxido de carbono nestas duas etapas foi determinada pela reação de combustão do diesel, correlacionada diretamente com o consumo deste combustível, ocorrido durante o transporte de cimento e concreto até o campo de obras e pela utilização de máquinas e equipamentos necessários para erguer o empreendimento.

5.3.1 Máquinas

O Consórcio VIA-OAS disponibilizou informações a respeito das máquinas utilizadas e suas respectivas horas de trabalho para o período julho de 2007 a abril de 2011. Já os dados referentes ao consumo médio das máquinas utilizadas na construção foram obtidos em pesquisa no Departamento de Engenharia e Construção do Exército Brasileiro (Tabela 1).

Tabela 1. Relação de máquinas e horas de trabalho necessárias para a construção da nova sede do TSE/DF entre o período de julho de 2007 a abril de 2011.

Máquinas	Especificações	Horas Totais de Trabalho	Consumo Médio (l/h)
Retroescavadeira	MF 96 SE 9620204291 Ano 05	6518,6	16
Caminhão Pipa	GM Chevrolet 11000 Ano 86	2477,2	20,1
Caminhão Carroceria	Caminhão Mercedes Benz 1519 Ano 87	5528,6	28
Caminhão Caçamba	Caminhão Mercedes Benz 1519 Ano 85	13081,2	28
Dumper	Agrale MOD 850-E Chassi Gama Cobra	11440	1,8
Patrol	Moto niveladora Caterpillar MD 120B SE 64U5109 Ano 86	55	22

Pá Mecânica	WA180 Komatsu SE A76132 Ano 96	1645,6	24
Pá Carregadeira	WA180 Komatsu SE A76132 Ano 96	1804	24
Escavadeira	PC 150 SE 3E81369 Komatsu Ano 92	1355,2	28
Rolo compactador	CA25 SE 685B738 Ano 87	96,8	22
Munk	Mercedes Constelation PHD Volkswagen Caminhão Volkswagen 24-250 E Ano 09	3080	36,9
Bob Cat	420MC Case SE N6M439717 Ano 07	880	16

Fonte: Consórcio VIA-OAS e Exército Brasileiro

A determinação do consumo total de diesel (Cd) necessário para o desenvolvimento desta atividade foi obtida a partir do somatório do produto das horas trabalhadas e consumo médio de cada máquina, ou seja:

$$Cd = \sum Ht \, . \, Cm \qquad (1)$$

Cd = consumo de diesel (l)

Ht = horas trabalhadas (h)

Cm = consumo médio da máquina ($l.h^{-1}$)

5.3.2 Transporte de Cimento e Concreto

5.3.2.1 Demandas de concreto

Por meio de contato com responsáveis técnicos do Consórcio VIA-OAS, uma planilha com volume de concreto (m^3) demandado em toda a obra foi disponibilizado. As demandas estavam diferenciadas quanto à resistência característica do concreto à compressão (Fck) e quanto à fonte provedora do material: cimenteira, quando o concreto era usinado na própria obra, ou concreteira, quando o concreto era usinado em outro local e transportado nesta forma até a obra (Tabela 2).

Tabela 2. Demanda de concreto na obra do TSE/DF.

Fck (Mpa)	Volume de Concreto (m³) Fonte: Cimenteira	Volume de Concreto (m³) Fonte: Concreteira
10	156	102,5
12	0	4345
13,5	24	26,5
15	476,5	2
20	7577,83	6443,29
25	6998,80	3461,06

30	25,08	16
35	32399,60	14304,13
50	2192	878,5

Fonte: Consórcio VIA-OAS

5.3.2.2 Conversão para quantidade de cimento demandado

Como as informações disponibilizadas pelo Consórcio estavam em função da demanda de volume de concreto (m^3), mas o transporte também se desenvolveu em relação ao cimento, já que o concreto foi usinado ou no próprio campo de obras ou na concreteira filiada à cimenteira, foi necessário converter estas demandas em quantidade de cimento (kg).

Os consumos de cimento ($kg.m^{-3}$) foram disponibilizados por uma grande cimenteira atuante no Distrito Federal, sendo que para algumas resistências características do concreto à compressão não foram informados os respectivos consumos (Tabela 3). Com isto, utilizando-se da ferramenta de linha de tendência presente no *software* Excel, foi possível obter uma equação para a linha, que possibilitou estimar esses dados pendentes.

Tabela 3. Consumo de cimento para diferentes resistências características do concreto à compressão (Fck).

Fck (Mpa)	Consumo de cimento ($kg.m^{-3}$)*
10	171
12	-
13,5	-
15	197
20	246
25	271
30	320
35	380
40	454
50	-

* Considerando os traços do concreto com Brita 1 e Aditivo polifuncional.
Fonte: Cimenteira atuante no Distrito Federal

Vale ressaltar que o concreto é um material formado pela mistura de cimento, água, agregados (areia e pedra) e, eventualmente, aditivos (ABESC, 2007). A quantidade de cimento varia em função do Fck desejado, tamanho da brita, tipo de areia, aditivo, relação água/cimento e onde será empregado. Assim, e diante da única informação disponível, os traços foram baseados unicamente com mistura de brita 1 e aditivo polifuncional.

5.3.2.3 Veículos utilizados no transporte

A cimenteira contratada para atender estas demandas foi a CIPLAN que disponibilizou informações quanto às especificações técnicas dos veículos utilizados para o transporte, capacidade de transporte de cimento e concreto por viagem, trajeto percorrido e localização da concreteira filiada que abasteceu a obra quando o concreto não era usinado no campo de obras.

Os dados sobre o consumo médio do caminhão utilizado no transporte de cimento foi fornecido pela CIPLAN, já o consumo do caminhão betoneira foi fornecido pelo Exército Brasileiro (Tabela 4).

Tabela 4. Máquinas utilizadas no transporte de cimento e concreto pela cimenteira

Máquinas	Especificações	Capacidade	Consumo médio (l/km)
Caminhão	VOLVO Ano 2007	40 Mg	0,77
Caminhão Betoneira	FORD Cargo 24X22 1995	8 m³	0,65

Fonte: CIPLAN e Exército Brasileiro

5.3.2.4 Distâncias percorridas

Quando a fonte provedora era a cimenteira, a distância percorrida era definida pelo transporte de cimento da fábrica até a obra da nova sede do TSE/DF por meio de caminhões. Já no caso da fonte provedora ser a concreteira, o transporte era realizado em duas etapas: transporte de cimento da fábrica á concreteira (filiada da cimenteira) e depois o transporte de concreto por meio de caminhões betoneiras até a obra em questão.

Através da ferramenta *Google Maps* foi possível determinar as distâncias percorridas em cada trajeto.

5.3.2.5 Fonte provedora: cimenteira

A partir dos volumes demandados de concreto que foram usinados no próprio campo de obras do TSE/DF (Tabela 2) e com as informações da Tabela 3, ou obtidas por meio da equação da linha de tendência, foi definida a quantidade de cimento necessária a ser transportada para atender a demanda de concreto, ou seja:

$$Qd_{cim} = \sum Vol_{con\,x} \,.\, Ccim_{con\,x} \qquad (2)$$

Qd $_{cim}$ = quantidade demandada de cimento (kg)

Vol $_{con\ x}$ = volume demandado de concreto de Fck X (m^3)

Ccim $_{con\ x}$ = consumo de cimento para concreto de Fck X ($kg.m^{-3}$)

A definição do número de viagens necessárias foi determinada pelo quociente da quantidade total demandada de cimento pela capacidade de transporte do caminhão, obtida pela relação:

$$Nv = \frac{Qd_{cim}}{C_{transp}} \qquad (3)$$

Nv = número de viagens

Ctransp = capacidade de transporte/viagem do caminhão (kg)

Já o consumo de diesel foi estimado pelo produto do número de viagens, com o consumo médio do caminhão utilizado (Tabela 4) e distância percorrida entre a CIPLAN e a nova sede do TSE/DF (ida e volta), o qual foi obtido por:

$$Cd = Nv \,.\, Cm \,.\, d \qquad (4)$$

Cd = consumo de diesel (l)

Cm = consumo médio do caminhão ($l.km^{-1}$)

d = distância necessária ao transporte (km)

5.3.2.6 Fonte provedora: concreteira

Durante a construção, algumas limitações tanto mecânicas quanto econômicas inviabilizaram a concretagem total no campo de obras. Com isto, tornou-se necessário o transporte de cimento não até a obra, mas até a usina de concretagem filiada á CIPLAN, de onde o concreto foi transportado até a obra (Figura 6).

Figura 6. Diagrama representativo do transporte quando a fonte provedora foi a concreteira.

O consumo de diesel no transporte 1 foi determinado pela aplicação do mesmo método descrito no transporte de cimento até o campo de obras, utilizando as fórmulas 2, 3 e 4. Os resultados se diferem, pois as distâncias percorridas se alteraram como também as quantidades demandadas de concreto (Tabela 2).

No transporte 2, considerando que a fonte provedora é a concreteira e tendo as informações dos volumes de concreto demandados (Tabela 2) e as especificações do veículo utilizado no transporte (Tabela 4) foi possível quantificar o número de viagens necessárias, ou seja:

$$Nv = \sum \frac{Vol_{con\,x}}{Vol_{transp}} \qquad (5)$$

Nv = número de viagens

Vol $_{con\ x}$ = volume demandada de concreto de Fck X (m³)

Vol_{transp} = capacidade de transporte/viagem do caminhão betoneira (m³)

Com base nas informações do número de viagens necessárias, o consumo médio do caminhão betoneira (Tabela 4) e distância entre a concreteira e a nova sede do TSE/DF (ida e volta), obteve-se o consumo total de diesel nesta etapa, aplicando a fórmula 4.

5.3.3 Conversão do consumo de diesel em emissão de dióxido de carbono

A fórmula química para o combustível diesel comum pode variar de $C_{10}H_{22}$ até $C_{15}H_{32}$, sendo que a fórmula química média é $C_{12}H_{26}$ (VALENTE, 2007).

Desse modo, a estimativa das emissões de dióxido de carbono se estabeleceu a partir da reação de combustão incompleta do dodecano, dada por:

$$C_{12}\,H_{26} + \ 18{,}5.(O_{\,2} + 3{,}76.N_2) \rightarrow 12CO_2 + 13H_2O + 69{,}56N_2$$

Considerando a estequiometria e a massa molar do diesel de 170 $kg.mol^{-1}$ e do dióxido de carbono de 44 $kg.mol^{-1}$ foi possível determinar a relação entre eles. Esta relação, definida em função das massas molares, foi correlacionada com o volume (l) do diesel, dado este quantificado na monografia, multiplicando a relação pela massa específica do combustível de 0,85 $kg.l^{-1}$, ou seja:

$$Qnt_{CO_2} = \sum Qnt_{Diesel}\ .\rho\ .\ \frac{12(\,MM_{\,CO2})}{MM_{C12H26}} \qquad (6)$$

Qnt_{CO2} = emissões de CO_2 (kg)

Qnt_{Diesel} = quantidade total de diesel consumido (l)

ρ = massa específica do diesel ($kg.l^{-1}$)

MM_{CO2}= massa molar do dióxido de carbono ($kg.mol^{-1}$)

MM_{C12H26}= massa molar do diesel ($kg.mol^{-1}$)

5.4 Levantamento do estoque de carbono nas espécies suprimidas

A empresa Arquitetura Urbanismo Oscar Niemeyer S/C Ltda contratada para realizar o Inventário Florestal 100% do estrato arbóreo-arbustivo da área suprimida, seguiu as determinações do Decreto n° 14.783/93:

> Art. 5° - Para aprovação dos processos de parcelamento do solo, deverá constar em memorial descritivo do projeto:
>
> I - toda espécie botânica de porte superior a 2,50 m (dois metros e cinqüenta centímetros), existente em cada terreno ou gleba;
>
> II - toda espécie arbóreo-arbustiva de circunferência superior a 20 cm (vinte centímetros) a 30 cm (trinta centímetros) do solo, existente no terreno ou gleba.

Assim, foram inventariados 172 indivíduos florestais, sendo 9 exóticos, 131 nativos e 32 nativos/tombados (Tabela 5).

Tabela 5. Inventário Florestal 100% do estrato arbóreo-arbustivo a ser suprimido.

Espécie Inventariada	Número de Indivíduos	Número de Indivíduos para compensação florestal
Exótica	**9**	**90**
Leucaena sp.	1	10
Peltophorum dubium	1	10
Schizolobium parahyba	2	20
Spatodea campanulata	1	10
Syzygium jambolanum	4	40
Nativa	**131**	**3930**
Aegiphila ihotzkiana	4	120
Austroplenckia populnea	2	60
Blepharocalyx salicifolius	2	60
Bowdichia virgilioides	3	90
Byrsonima coccolobifolia	3	90
Casearia sylvestris	2	60
Dimorphandra mollis	1	30
Diospyros hispida	1	30
Enterolobium gummiferum	1	30
Guapira noxia	1	30
Guazuma ulmifolia	1	30
Heteropterys byrsonimifolia	1	30
Hymenaea stigonocarpa	2	60
Kielmeyera coriacea	1	30
Lafoensia pacari	1	30
Mapronea guianensis	1	30
Miconia burchellii	1	30
Ouratea hexasperma	1	30
Piptocarpha rotundifolia	1	30
Pouteria ramiflora	2	60
Pouteria torta	7	210
Protium obovatum	1	30
Qualea grandiflora	23	690
Qualea parviflora	19	570
Rapaneia guiananensis	3	90
Roupala montana	2	60
Schefflera macrocarpa	2	60
Strychnos pseudoquina	3	90
Stryphnodendron adstringens	33	990
Styrax ferrugineus	3	90
Trema micantra	2	60
Vochysia rufa	1	30
Nativa/Tombada	**32**	**960**

Caryocar brasiliense	3	90
Dalbergia miscolobium	26	780
Eugenia dysenterica	1	30
Tabebuia ochracea	1	30
Vochysia rufa	1	30
TOTAL	**172**	**4980**

Fonte: Arquitetura Urbanismo Oscar Niemeyer S/C Ltda.

De acordo com REZENDE *et al* (2006), em estudos aplicados para o cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília, a melhor equação para determinar o estoque de carbono foi:

$$C = 0{,}24564 + 0{,}01456Db^2Ht \qquad \text{(REZENDE } et\ al\text{, 2006)}$$

C = estoque de carbono (kg)

Db = diâmetro tomado a 0,30 m do nível do solo (cm)

Ht = altura total (m)

Esta equação apresentou coeficiente de determinação acima de 98% e erro padrão percentual abaixo de 26%.

Com base nestas informações e subestimando que as espécies florestais inventariadas tivessem os valores mínimos estabelecidos por Decreto (Ht= 2,5m e Db= 6,37cm), foi possível determinar o estoque de carbono de cada espécie. Como os dados obtidos foram valores por espécie, foi necessário multiplicar pela frequência absoluta, a fim de obter dados de todos os indivíduos florestais suprimidos, fórmula (7).

$$T_{Ce} = \sum Ce\,.n \qquad (7)$$

T_{Ce} = Carbono estocado total (kg)

Ce = carbono estocado por espécie (kg)

n = número de indivíduos por espécie

5.5 Efetividade da compensação ambiental

A verificação da efetividade da compensação florestal determinada para este estudo de caso só foi possível a partir de dados obtidos na tese realizada por REZENDE (2002), que monitorou parcelas de cerrado *sensu stricto* localizadas na Fazenda Água Limpa, Brasília, sob diferentes tratamentos para um período de onze anos.

Os tratamentos realizados no estudo de REZENDE (2002) estavam vinculados a diferentes tipos de atividades de corte de alto impacto, que são frequentemente observados para a região e que podem alterar profundamente a estrutura da vegetação. Neste trabalho, foi considerado somente os dados obtidos para o Tratamento 1 (corte com motosserra e retirada da lenha), propondo que este seja o impacto mais comumente verificado nas áreas potenciais a se realizar compensação ambiental.

Os dados observados na tese e que foram relevantes ao desenvolvimento deste trabalho foi o incremento periódico anual do diâmetro tomado a 0,30 m acima do nível do solo (Db) durante o período de 1995 a 2000 em função da espécie (Tabela 6).

Tabela 6. Incremento periódico anual em diâmetro (IPADb) obtido para as espécies de maior densidade, amostradas nas áreas do cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa (UnB), DF, submetidas aos tratamento 1, no período de monitoramento de 1995 a 2000.

Tratamento	Espécies	$IPADb_{1995-2000}$ ($cm.ano^{-1}$)
1	*Blepharocalyx salicifolius*	0,59
	Byrsonima crassa	0,4
	Caryocar brasiliense	0,31
	Eremanthus glomerulatus	0,26
	Eriotheca pubescens	0,45
	Miconia pohliana	0,56
	Piptocarpha rotundifolia	0,5
	Schefflera macrocarpa	0,29
	Stryphnodendron adstringens	0,47
	Vochysia elliptica	0,45

Fonte: REZENDE (2002).

Com as informações de REZENDE (2002) correlacionadas às obtidas na tese de VALE (2000), Tabela 7, foi possível determinar a idade das espécies que foram analisadas em ambos os estudos e a partir deste dado estimar o Incremento periódico anual da altura total (fórmulas 8 e 9).

$$ID = \frac{Db}{IPADb} \quad (8)$$

ID = Idade (anos)

Db = diâmetro da base (cm)

IPADb = Incremento periódico anual em diâmetro ($cm.ano^{-1}$)

$$IPAHt = \frac{Ht}{ID} \quad (9)$$

IPAHt = Incremento periódico anual da Altura ($m.ano^{-1}$)

Ht = altura total (m)

Tabela 7. Número de árvores por hectare, diâmetro médio da base (cm) e altura média (m) para espécies encontradas no cerrado da Fazenda Água Limpa (UnB), DF.

Espécies	N	Diâmetro (cm)	Altura (m)
Blepharocalyx salicifolius	12	11,48	3,84
Byrsonima crassa	11	6,41	2,39
Caryocar brasiliense	29	12,57	4,77
Eremanthus glomerulatus	16	5,85	1,65
Eriotheca pubescens	10	9,25	3,44
Miconia pohliana	35	8,21	2,74
Piptocarpha rotundifolia	3	6,9	1,92
Schefflera macrocarpa	25	9,5	4,36
Stryphnodendron adstringens	5	10,56	3,58
Vochysia elliptica	6	8,17	2,89

Fonte: VALE (2000).

Baseados nos dados de IPADb e IPAHt estabelecidos para as espécies presentes nos dois estudos, pode-se fazer a prognose de estoque de carbono a partir da equação determinada por REZENDE *et al* (2006) para o cerrado *sensu stricto*, fórmula 10 (adaptada).

$$C_{(ID)} = 0{,}24564 + 0{,}01456.(IPADb.ID)^2.(IPAHt.ID) \quad (10)$$

A prognose por espécie do estoque de carbono foi realizada em intervalos múltiplos de dois anos, até atingir a idade máxima de 20 anos. A determinação para um período de até 20 anos está embasada no trabalho de REZENDE (2002) que também realizou uma prognose do estoque de carbono dos indivíduos florestais até os 20 anos, sendo que sua estimativa foi realizada a partir dos 12 anos de idade dos indivíduos.

As mudanças ocorridas na estrutura da vegetação ao longo do tempo também podem proporcionar resultados inconsistentes nas projeções (HUSCH, MILLER e BEERS, 1972;

AVERY e BURKHART, 1994 e SCOLFORO *et al*., 1998 *apud* REZENDE, 2002). Com isto, tentando minimizar os erros envolvidos para longas projeções, foi determinada a prognose do plantio até os 20 anos de idade das espécies florestais.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Estimativa das emissões de CO_2 durante obra

6.1.1 Máquinas

Na Tabela 8, são apresentados os valores obtidos para o consumo de diesel em litros e respectivas emissões de dióxido de carbono por máquina utilizada durante a obra. Neste componente foi emitido um total de aproximadamente 2.501,57 Mg de CO_2.

Tabela 8. Emissões de dióxido de carbono por máquina utilizada durante o período de julho de 2007 a abril de 2011 na obra da nova sede do TSE/DF.

Máquinas	Horas Totais de Trabalho	Consumo Médio (l/h)	Qnt Diesel (l)	Qnt CO_2 (kg)
Retroescavadeira	6518,6	16	104297,60	275345,66
Caminhão Pipa	2477,2	20,1	49791,72	131450,14
Caminhão Carroceria	5528,6	28	154800,80	408674,11
Caminhão Caçamba	13081,2	28	366273,60	966962,30
Dumper	11440	1,8	20592,00	54362,88
Patrol	55	22	1210,00	3194,40
Pá Mecânica	1645,6	24	39494,40	104265,22
Pá Carregadeira	1804	24	43296,00	114301,44
Escavadeira	1355,2	28	37945,60	100176,38
Rolo compactador	96,8	22	2129,60	5622,14
Munk	3080	36,9	113652,00	300041,28
Bob Cat	880	16	14080,00	37171,20
TOTAL			947563,32	2501567,16

Fonte: Autora.

6.1.2 Transporte de Cimento e Concreto

6.1.2.1 Traços de concreto

Considerando os consumos de cimento ($kg.m^{-3}$) disponibilizados pela cimenteira para as diferentes resistências características do concreto à compressão (Tabela 3), foi possível plotar estes pontos em um gráfico e obter uma linha de tendência que segue a função $y = 9{,}207x + 61{,}10$, apresentando um coeficiente de determinação acima de 97%. Esta função

é válida considerando a mistura para obtenção do concreto com brita 1 e aditivo polifuncional (Figura 7).

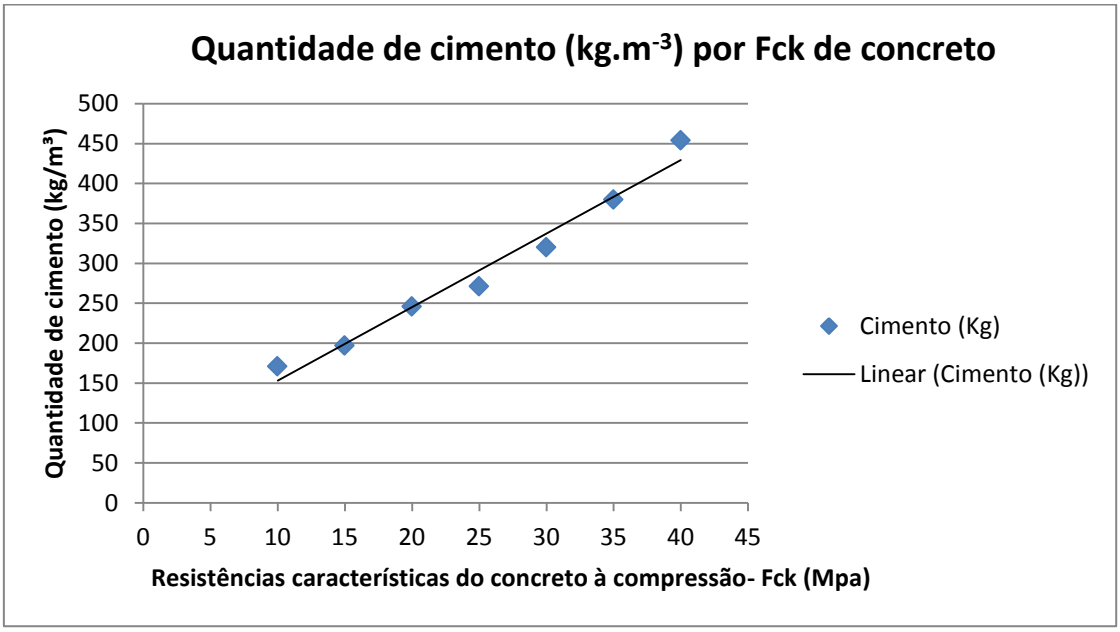

Figura 7. Linha de tendência do consumo de cimento (kg.m^{-3}) para diferentes resistências características do concreto à compressão (Fck). Fonte: Autora.

A partir da função obtida, foi possível determinar as quantidades de cimento (kg.m^{-3}) para Fck de 12, 13,5 e 50 Mpa (Tabela 9).

Tabela 9. Consumo de cimento (kg.m^{-3}) para diferentes resistências características do concreto à compressão.

Fck (Mpa)	Consumo de cimento (kg.m^{-3})*
12	171,58
13,5	185,39
50	521,45

* Considerando os traços do concreto com Brita 1 e Aditivo polifuncional. Fonte: Autora.

6.1.2.2 Fonte provedora: cimenteira

Utilizando as informações do consumo de cimento (kg.m^{-3}) por Fck obtidas no item anterior e também presentes na Tabela 3, pode-se determinar a quantidade de cimento (kg) necessária a ser transportada a fim de atender as demandas da fabricação do concreto no canteiro de obras do TSE/DF (Tabela 10).

Tabela 10. Quantidade de cimento (kg) transportado da cimenteira ao campo de obras da nova sede do TSE/DF.

Fck (Mpa)	Concreto Demandado (m^3)	Consumo de cimento ($kg.m^{-3}$)	Total de Cimento (kg)
10	156	171	26676
13,5	24	185,39	4449,47
15	476,50	197	93870,50
20	7577,83	246	1864146,57
25	6998,81	271	1896677,08
30	25,08	320	8025,60
35	32399,60	380	12311848,95
50	2192	521,45	1143018,40
TOTAL	49849,82		17348712,57

Fonte: Autora.

Em base de dados como a capacidade de transporte do caminhão, estabelecida em 40000 kg de cimento (Tabela 4), pode-se determinar uma quantidade de 434 viagens necessárias para atender as demandas solicitadas pelo Consórcio VIA-OAS.

Distâncias percorridas

Na Figura 8, é apresentada a rota percorrida entre a CIPLAN e a nova sede do TSE/DF, este percurso foi definido pela cimenteira em função das vias permitidas de acesso para veículos pesados. Observou-se também que o caminho contrário (Figura 9) sofreu uma pequena alteração em comparação com a Figura 8, tendo em vista que muitas vias são de mão única.

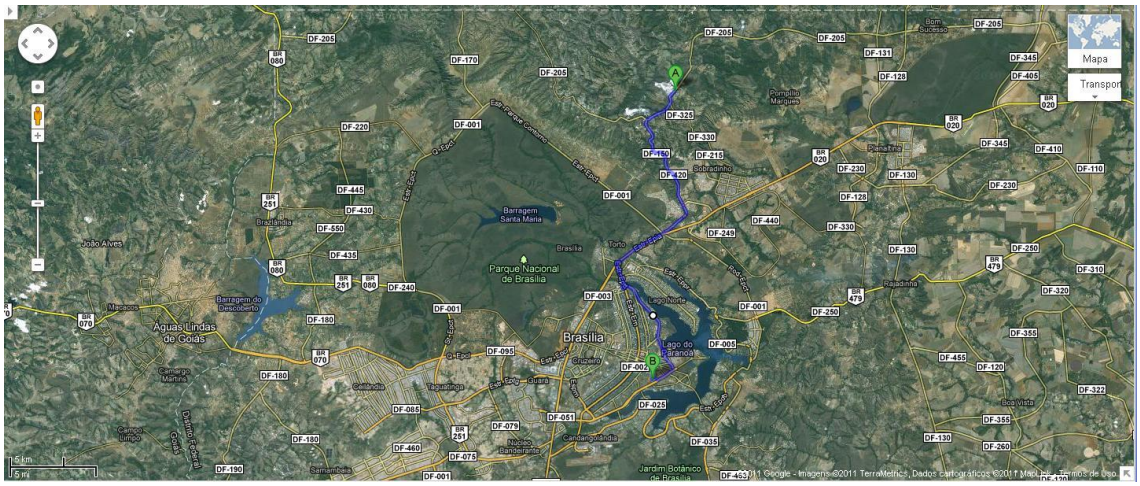

Figura 8. Trajeto entre a Cimenteira (CIPLAN) e a nova sede do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF), linha em azul. Fonte: *Google Maps*, 2011.

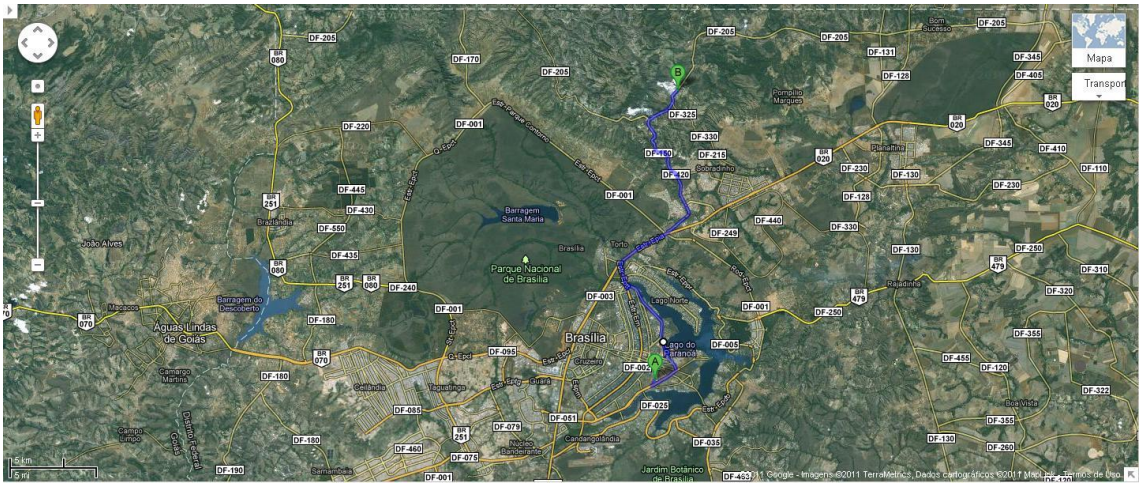

Figura 9. Trajeto entre a nova sede do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF) e a Cimenteira (CIPLAN), linha em azul. Fonte: *Google Maps*, 2011.

A partir da ferramenta online *Google Maps* foi determinada uma distância de aproximadamente 38,4 km no percurso Cimenteira até o TSE/DF e de 39,1 km no caminho contrário.

Quantificação das emissões de dióxido de carbono

O resultado obtido para a emissão de dióxido de carbono envolvido no transporte do cimento entre a cimenteira e o campo de obras do TSE/DF está apresentado na Tabela 11. Neste componente foi emitido aproximadamente 66,9 Mg de CO_2.

Tabela 11. Emissões de dióxido de carbono provenientes do transporte de cimento da cimenteira ao campo de obras da nova sede do TSE/DF.

Percurso	Distância (Km)	Nº de Viagens	Consumo Médio (l/km)	Qnt Diesel (l)	Qnt CO_2 (kg)
Cimenteira - TSE	38,4				
TSE - Cimenteira	39,1				
TOTAL	77,5	434	0,77	25898,95	66925,32

Fonte: Autora.

6.1.2.3 Fonte provedora: concreteira

Conforme descrito na metodologia, o transporte quando a fonte provedora era a concreteira se realizava em duas etapas:

6.1.2.3.1 Transporte 1: CIPLAN - concreteira

A Tabela 12 mostra a quantidade de cimento (kg) necessária a ser transportada a fim de atender as demandas vinculadas a fabricação de concreto na concreteira da CIPLAN.

Tabela 12. Quantidade de cimento transportado (kg) da cimenteira à concreteira filiada da CIPLAN.

Fck (Mpa)	Concreto Demandado (m^3)	Consumo de cimento ($kg.m^{-3}$)	Total de Cimento (kg)
10	102,5	171	17527,50
12	4345	171,58	745532,48
13,5	26,5	185,39	4912,95
15	2	197	394,00
20	6443,29	246	1585050,35
25	3461,06	271	937948,86
30	16	320	5120,00
35	14304,13	380	5435569,59
50	878,5	521,45	458093,83
TOTAL	29578,99		9190149,56

Fonte: Autora.

A partir da demanda total de cimento e considerando que o caminhão que realizava o transporte tinha capacidade de carga de 40000 kg, foram necessárias 230 viagens.

Distâncias percorridas

As Figuras 10 e 11 mostram o trajeto percorrido entre a CIPLAN e a concreteira filiada a ela, localizada no SOF Norte Quadra 2 Conjunto F n 12.

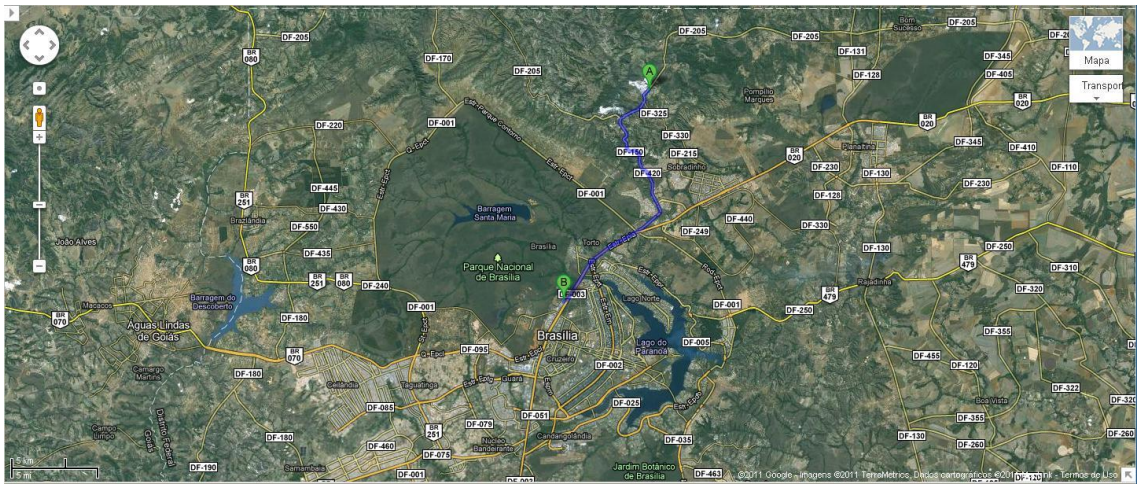

Figura 10. Trajeto entre a fábrica da CIPLAN e a concreteira filiada, linha em azul. Fonte: *Google Maps*, 2011.

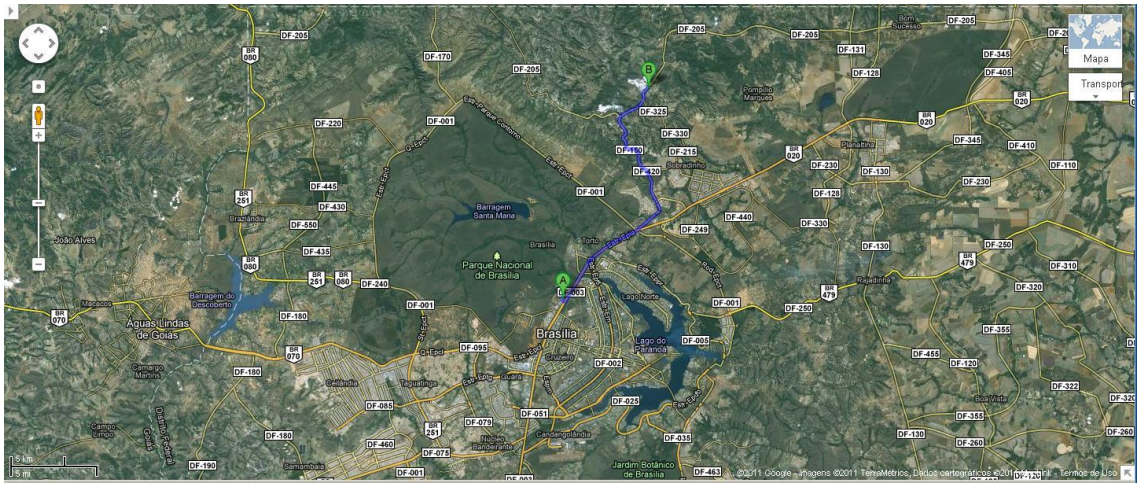

Figura 11. Trajeto entre a concreteira filiada e a fábrica da CIPLAN, linha em azul. Fonte: *Google Maps*, 2011.

Quantificação das emissões de dióxido de carbono

A Tabela 13 mostra as emissões de dióxido de carbono, em kg, provenientes do transporte 1, sendo este de aproximadamente 25,8 Mg.

Tabela 13. Emissões de dióxido de carbono provenientes do transporte de cimento da fábrica da CIPLAN (Cimenteira) á concreteira filiada.

Percurso	Distância (Km)	Nº de Viagens	Consumo Médio (l/km)	Qnt Diesel (l)	Qnt CO_2 (kg)
Cimenteira - Concreteira	27,6				
Concreteira – Cimenteira	28,8				
TOTAL	56,4	230	0,77	9988,44	25811,07

Fonte: Autora.

6.1.2.3.2 Transporte 2: Concreteira – TSE/DF

Nesta etapa, houve o transporte de concreto pronto da concreteira até o campo de obras do TSE/DF. Sendo necessárias 3702 viagens de caminhão betoneira com capacidade de 8 m³ para atender as demandas requisitadas (Tabela 14).

Tabela 14. Número de viagens necessárias entre a concreteira e a nova sede do TSE/DF.

Fck (Mpa)	Concreto Demandado (m³)	Número de viagens
10	102,5	13
12	4345	544
13,5	26,5	4

15	2	1
20	6443,29	806
25	3461,07	433
30	16	2
35	14304,13	1789
50	878,5	110
TOTAL	-	3702

Fonte: Autora.

Distâncias percorridas

Com a ferramenta *online Google Maps* foram obtidas as Figuras 12 (trajeto da concreteira ao campo de obras do TSE/DF) e 13 (caminho contrário) além das distâncias percorridas de aproximadamente 17,4 e 20,9 km, respectivamente.

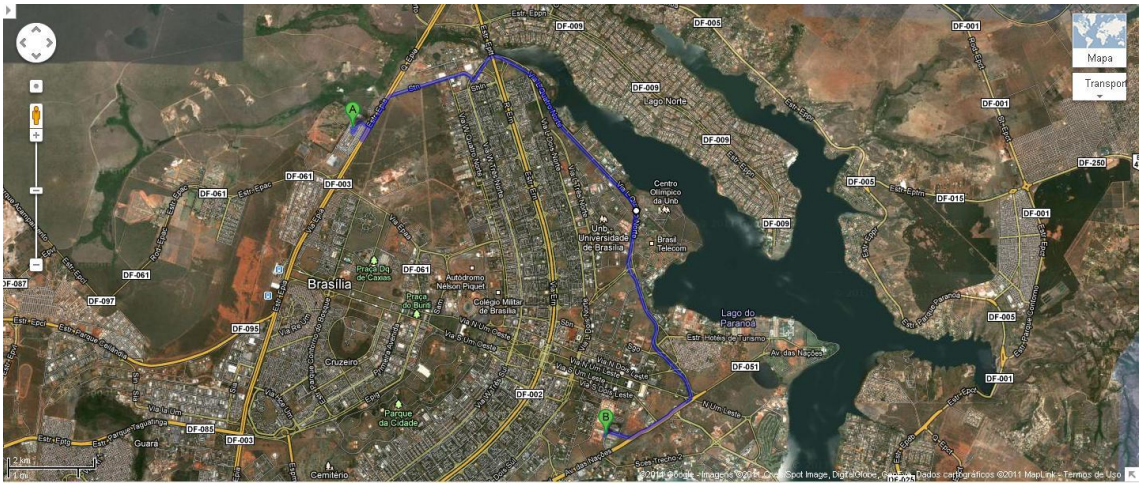

Figura 12. Trajeto entre a concreteira filiada da CIPLAN e a nova sede do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF), linha em azul. Fonte: *Google Maps*, 2011.

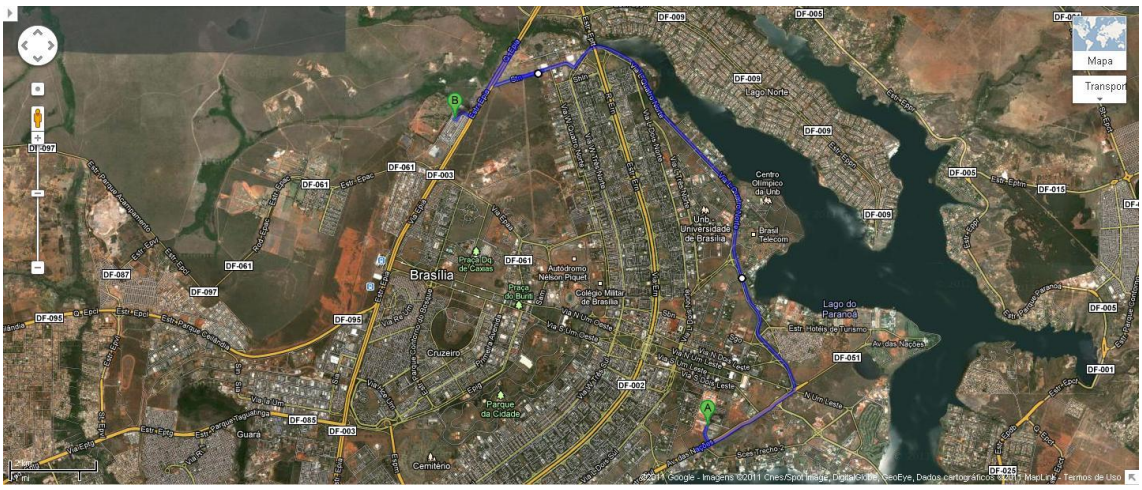

Figura 13. Trajeto a nova sede do Tribunal Superior Eleitoral (TSE/DF) e a concreteira filiada da CIPLAN, linha em azul. Fonte: *Google Maps*, 2011.

Quantificação das emissões de dióxido de carbono

As emissões de dióxido de carbono envolvidas nesta etapa do transporte de concreto foram quantificadas e apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15. Quantificação das emissões de dióxido de carbono no componente transporte de concreto da concreteira ao campo de obras da nova sede do TSE/DF.

Percurso	Distância (Km)	Nº de Viagens	Consumo Médio (l/km)	Qnt Diesel (l)	Qnt CO2 (kg)
Concreteira – TSE	17,4				
TSE – Concreteira	20,9				
TOTAL	38,3	3702	0,65	92670,98	239470,54

Fonte: Autora.

6.2 Levantamento do estoque de carbono nas espécies suprimidas

De acordo com as informações presentes no Inventário Florestal realizado na área em que a vegetação iria ser suprimida (Tabela 5) e aplicando a equação de estoque de carbono para cerrado *sensu stricto* apresentado por REZENDE *et al* (2006), obteve-se a Tabela 16. Sendo que a altura e diâmetro da base foram estabelecidos a partir do critério limite presente no Decreto N° 14.783/93.

Tabela 16. Estoque de carbono presente na comunidade lenhosa (Db = 6,37cm, Ht = 2,5m) do cerrado *sensu stricto* suprimido para implantação da nova sede do TSE/DF.

Nome Científico	Frequência Absoluta	Ht (m)	Db (cm)	Carbono estocado (kg)
Leucaena sp.	1	2,5	6,37	1,721
Peltophorum dubium	1	2,5	6,37	1,721
Schizolobium parahyba	2	2,5	6,37	3,442
Spatodea campanulata	1	2,5	6,37	1,721
Syzygium jambolanum	4	2,5	6,37	6,884
Aegiphila ihotzkiana	4	2,5	6,37	6,884
Austroplenckia populnea	2	2,5	6,37	3,442
Blepharocalyx salicifolius	2	2,5	6,37	3,442
Bowdichia virgilioides	3	2,5	6,37	5,163
Byrsonima coccolobifolia	3	2,5	6,37	5,163
Casearia sylvestris	2	2,5	6,37	3,442
Dimorphandra mollis	1	2,5	6,37	1,721
Diospyros hispida	1	2,5	6,37	1,721

Enterolobium gummiferum	1	2,5	6,37	1,721
Guapira noxia	1	2,5	6,37	1,721
Guazuma ulmifolia	1	2,5	6,37	1,721
Heteropterys byrsonimifolia	1	2,5	6,37	1,721
Hymenaea stigonocarpa	2	2,5	6,37	3,442
Kielmeyera coriacea	1	2,5	6,37	1,721
Lafoensia pacari	1	2,5	6,37	1,721
Mapronea guianensis	1	2,5	6,37	1,721
Miconia burchellii	1	2,5	6,37	1,721
Ouratea hexasperma	1	2,5	6,37	1,721
Piptocarpha rotundifolia	1	2,5	6,37	1,721
Pouteria ramiflora	2	2,5	6,37	3,442
Pouteria torta	7	2,5	6,37	12,046
Protium obovatum	1	2,5	6,37	1,721
Qualea grandiflora	23	2,5	6,37	39,580
Qualea parviflora	19	2,5	6,37	32,697
Rapaneia guiananensis	3	2,5	6,37	5,163
Roupala montana	2	2,5	6,37	3,442
Schefflera macrocarpa	2	2,5	6,37	3,442
Strychnos pseudoquina	3	2,5	6,37	5,163
Stryphnodendron adstringens	33	2,5	6,37	56,789
Styrax ferrugineus	3	2,5	6,37	5,163
Trema micantra	2	2,5	6,37	3,442
Vochysia rufa	1	2,5	6,37	1,721
Caryocar brasiliense	3	2,5	6,37	5,163
Dalbergia miscolobium	26	2,5	6,37	44,743
Eugenia dysenterica	1	2,5	6,37	1,721
Tabebuia ochracea	1	2,5	6,37	1,721
Vochysia rufa	1	2,5	6,37	1,721
TOTAL	172	-	-	295,99

Fonte: Autora.

6.3 Emissões de dióxido de carbono provenientes dos componentes quantificados e da vegetação suprimida

A Tabela 17 resume as informações obtidas sobre as emissões de dióxido de carbono envolvidas nos componentes que este trabalho propôs a quantificar.

Tabela 17. Emissões totais de dióxido de carbono (kg) nos componentes analisados

Componente	Qnt CO2 (kg)
Máquinas	2501567,16
Transporte (Cimenteira - TSE – Cimenteira)	66925,32

Transporte (Cimenteira - Concreteira - Cimenteira)	25811,07
Transporte (Concreteira - TSE – Concreteira)	239470,54
TOTAL	2833774,09

Fonte: Autora.

No caso da supressão das espécies florestais, não foi informado sobre o destino dado aos resíduos, mas é notório que a retirada destes indivíduos contribuiu para um balanço negativo no quesito sequestro de carbono. Com isto, o valor de carbono estocado de 295,99 kg (Tabela 14) passou a não desempenhar esta função ecológica e intensificou os impactos ambientais provenientes da obra.

Assim, foi quantificada uma emissão de dióxido de carbono envolvida tanto no transporte, na construção da obra e na supressão dos indivíduos florestais de aproximadamente 2.834,07 Mg de CO_2.

6.4 Estoque de carbono para as espécies analisadas

A prognose do carbono estocado só foi possível com base nos trabalhos desenvolvidos por VALE (2000) e REZENDE (2002) que analisaram as mesmas dez espécies para a mesma área de cerrado *sensu stricto*. Assim, VALE (2000) possuía informações quanto ao diâmetro da base médio (Db) e a altura média (Ht) para cada espécie estudada, já REZENDE (2002) determinou o incremento periódico anual de Db (IPADb). Compilando as informações obtidas por ambos foi possível estimar a idade e com isto obter o incremento periódico da altura total (IPAHt), Tabela 18.

Tabela 18. Compilação de dados obtidos na tese de REZENDE (2002) e VALE (2000).

Espécies	REZENDE (2002)	VALE (2000)		AUTORA	
	IPADb (cm.ano^{-1})	Db (cm)	Ht (m)	IDADE (anos)	IPAHt (m.ano^{-1})
Blepharocalyx salicifolius	0,59	11,48	3,84	19,46	0,197
Byrsonima crassa	0,4	6,41	2,39	16,03	0,149
Caryocar brasiliense	0,31	12,57	4,77	40,55	0,118
Eremanthus glomerulatus	0,26	5,85	1,65	22,50	0,073
Eriotheca pubescens	0,45	9,25	3,44	20,56	0,167
Miconia pohliana	0,56	8,21	2,74	14,66	0,187
Piptocarpha rotundifolia	0,5	6,9	1,92	13,80	0,139
Schefflera macrocarpa	0,29	9,5	4,36	32,76	0,133
Stryphnodendron adstringens	0,47	10,56	3,58	22,47	0,159
Vochysia elliptica	0,45	8,17	2,89	18,16	0,159

Fonte: REZENDE (2002), VALE (2000) e Autora.

Tendo dados de IPAHt e IPADb, para as dez espécies presentes na área de cerrado *sensu stricto* sob tratamento 1, obteve-se a Tabela 19 com a prognose do estoque de carbono para até os 20 anos de idade. As espécies foram distribuídas em ordem decrescente quanto ao carbono estocado da seguinte forma: *Blepharocalyx salicifolius, Miconia pohliana, Stryphnodendron adstringens, Piptocarpha rotundifolia, Eriotheca pubescens, Vochysia elliptica, Byrsonima crassa, Caryocar brasiliense, Schefflera macrocarpa , Eremanthus glomerulatus.*

Os dados apresentados neste trabalho puderam ser comparados aos estimados por REZENDE (2002) que em base do modelo de crescimento matricial prognosticou para cinco períodos de simulação (2000, 2002, 2004, 2006 e 2008) o número de indivíduos (ind.ha^{-1}) e estoque de carbono (kg.ha^{-1}) para a área de cerrado *sensu stricto* submetida ao tratamento 1. Correlacionando estes dados que foram projetados, pode-se obter quanto cada indivíduo florestal seqüestra de carbono em média quando submetido ao tratamento 1, em uma área de cerrado *sensu stricto*.

A Tabela 20 mostra os valores observados por REZENDE (2002) e os apresentados neste trabalho. A variação envolvida entre os dados está associada à diferença do período estimado, que foi de 8 anos para REZENDE (2002) e de 20 anos para este trabalho, que acaba proporcionando uma maior propagação do erro. Outro fator, que o trabalho de REZENDE (2002) leva em consideração o estoque de carbono em função da área sob diferentes tratamentos, já este trabalho tem como objetivo verificar o estoque de carbono em função da variação da espécie. Com isto, para tornar possível a comparação entre os dados, foi necessário determinar a média de carbono estocado por espécie obtido neste trabalho, para cada período estimado, sendo que foi desconsiderada uma informação importante, a abundância de cada espécie na área sob tratamento 1, que provavelmente ocasionou em um erro associado a esta comparação.

Tabela 19. Quantidade de carbono estocado (kg) por espécie em áreas do cerrado *sensu stricto* submetidas ao tratamento 1, em intervalos de dois em dois anos, para um período de 20 anos.

Espécies	**IPADb $_{1995-2000}$ (cm.ano^{-1})**	**IPAHt (cm.ano^{-1})**	**IDADE (ANOS)**									
			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Blepharocalyx salicifolius	0,59	0,197	0,254	0,310	0,462	0,758	1,246	1,974	2,990	4,343	6,079	8,248
Byrsonima crassa	0,4	0,149	0,248	0,268	0,321	0,424	0,593	0,846	1,199	1,669	2,272	3,025
Caryocar brasiliense	0,31	0,118	0,247	0,256	0,281	0,330	0,410	0,530	0,697	0,920	1,206	1,562
Eremanthus glomerulatus	0,26	0,073	0,246	0,250	0,261	0,283	0,318	0,370	0,444	0,541	0,667	0,823
Eriotheca pubescens	0,45	0,167	0,250	0,277	0,352	0,498	0,739	1,098	1,600	2,267	3,123	4,193
Miconia pohliana	0,56	0,187	0,252	0,300	0,430	0,683	1,099	1,720	2,587	3,741	5,222	7,073
Piptocarpha rotundifolia	0,5	0,139	0,250	0,278	0,355	0,505	0,752	1,121	1,635	2,320	3,199	4,297
Schefflera macrocarpa	0,29	0,133	0,247	0,256	0,281	0,329	0,409	0,527	0,693	0,913	1,196	1,549
Stryphnodendron adstringens	0,47	0,159	0,250	0,278	0,356	0,508	0,758	1,131	1,652	2,345	3,234	4,345
Vochysia elliptica	0,45	0,159	0,249	0,276	0,347	0,486	0,715	1,057	1,533	2,168	2,983	4,000
MÉDIA			0,249	0,275	0,345	0,480	0,704	1,037	1,503	2,123	2,918	3,912

Fonte: Autora.

Tabela 20. Comparação entre a prognose do estoque de carbono (kg) por indivíduo para áreas de cerrado *sensu stricto* submetido ao tratamento 1, em intervalos de dois em dois anos, para o período de 12 a 20 anos de idade. Dados obtidos por REZENDE (2002) e Autora.

	REZENDE (2002)				**AUTORA**
	Idade (anos)	Estoque de Carbono (kg.ha^{-1})	Ind. ha^{-1}	Estoque de Carbono (kg.ind^{-1})	Estoque de Carbono (kg.ind^{-1})
Observado	10	543,6607	403,33	1,34793	-
Observado	12	734,4234	600	1,224039	-
Estimado	12	1009,837	623,99	1,618354	1,037489
Estimado	14	1314,878	785,35	1,674257	1,503066
Estimado	16	1825,559	948,6	1,924477	2,122614
Estimado	18	2354,193	1083,46	2,172847	2,918129
Estimado	20	2859,7179	1195,81	2,391448	3,911606

Fonte: REZENDE (2002) e Autora.

Esperava-se que com a propagação de erro proveniente de ambas as prognoses que a diferença entre carbono estocado por indivíduo, nos dois estudos, fosse maior na projeção para o último ano, no caso aos 20 anos, que pode ser verificado pela maior diferença entre os valores obtidos por REZENDE (2002) e Autora (Tabela 20). Caso as estimativas se prolongassem além dos 20 anos, bem provável que passasse do aceitável as suposições de estoque de carbono por indivíduo.

Observa-se também que o estoque de carbono foi muito baixo para as espécies analisadas, sendo que o cerrado possui espécies com maior produtividade que estas. THOMPSON (2009) obteve, em campo e também para o cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa (UnB), para 63 árvores da espécie *Sclerolobium paniculatum Vog. var. subvelutinum Benth,* vulgo carvoeiro, um carbono estocado de aproximadamente 2159,09 $kg.ha^{-1,}$ considerando o carbono presente no fuste, galhos em geral e folhas e desconsiderando as árvores mortas. Este valor é bem superior aos observados por REZENDE (2002) que prevê somente a partir de 18 anos ter um carbono superior ao obtido por THOMPSON (2009) para uma área de cerrado *sensu stricto* sob o tratamento 1.

Com base das informações presentes neste estudo, foi possível observar um melhor desempenho no quesito carbono estocado nas espécies *Blepharocalyx salicifolius* e *Miconia pohliana* em comparação as outras oito espécies. Como dito, não necessariamente estas espécies são as que se destacam no cerrado *sensu stricto* desempenhando esta função, apenas foi observado sua superioridade em relação às outras espécies analisadas.

A falta de informações periódicas e constantes da taxa de crescimento de espécies nativas do cerrado impossibilita uma estimativa do sequestro de carbono entre a variedade de espécies presentes no Bioma e com isso uma comparação mais ampla entre os diferentes potenciais de estoque de carbono existente.

6.5 Estudo de caso: Análise da efetividade da compensação florestal

Neste estudo de caso, foram emitidos aproximadamente 2.834,07 Mg de CO_2 nos componentes que este trabalho propôs a quantificar. A partir dos valores obtidos do estoque de carbono por espécie, Tabela 19, para até os 20 anos de idade do indivíduo florestal, pode-se definir a quantidade necessária de indivíduos a serem plantados a fim de compensar o impacto proveniente das emissões de dióxido de carbono (Tabela 21).

Com isto, para a espécie *Blepharocalyx salicifolius* seriam necessários 343.623,34 indivíduos para que aos 20 anos as emissões quantificadas fossem compensadas e cerca de 3.443.290,90 de *Eremanthus glomerulatus*. A grande quantidade da espécie *Eremanthus glomerulatus* está associada ao seu hábito arbustivo, sendo que a *Blepharocalyx salicifolius* tem porte arbóreo.

Estes resultados que preveem grandes quantidades de indivíduos florestais a serem plantados para que em um período de 20 anos compense as emissões quantificadas neste trabalho, colocam em discussão a efetividade do Decreto N° 14.783/93 que para este estudo de caso estabelecia um plantio de 4980 mudas nativas para efeito de compensação ambiental *in natura*. Caso fossem realizados plantios homogêneos de 4980 mudas para cada espécie analisada, em 20 anos teria um máximo de carbono estocado de 41073,08 kg para *Blepharocalyx salicifolius* e um valor mínimo de 4098,89 kg para a espécie arbustiva *Eremanthus glomerulatus* (Tabela 22). Esses valores são respectivamente 1,44% e 0,14% da emissão total gerada.

Ressalta-se que este trabalho desconsiderou várias outras fontes de emissão de GEE, comentados entre uma das limitações, o que prevê que a emissão proveniente da obra seja bem superior a quantificada.

Com isto, esta monografia propôs provocar a discussão quanto a efetividade da compensação florestal em vigor no Distrito Federal e tentar compreender até que ponto ela realmente exerce esta função, além de propor que novos fatores sejam agregados a fim de atingir o objetivo principal deste instrumento.

Tabela 21. Quantidade de indivíduos necessários por espécie a serem plantados em intervalos múltiplos de dois anos, para o período de 10 a 20 anos, para áreas de cerrado *sensu stricto* submetido ao tratamento 1 para compensar uma emissão de 2.834,07 Mg de CO2.

Espécies	IDADE (Anos)					
	10	12	14	16	18	20
Blepharocalyx salicifolius	2.274.743,02	1.435.652,02	947.749,83	652.613,52	466.200,98	343.623,34
Byrsonima crassa	4.778.553,85	3.349.892,33	2.363.658,46	1.698.310,15	1.247.435,78	936.830,34
Caryocar brasiliense	6.908.323,91	5.346.609,80	4.064.335,99	3.081.042,86	2.350.781,02	1.813.875,47
Eremanthus glomerulatus	8.917.251,98	7.652.101,83	6.387.377,33	5.235.825,83	4.251.615,71	3.443.290,90
Eriotheca pubescens	3.834.702,16	2.580.491,49	1.771.757,80	1.250.315,98	907.408,25	675.906,75
Miconia pohliana	2.578.769,01	1.647.477,58	1.095.393,13	757.568,73	542.671,42	400.715,22
Piptocarpha rotundifolia	3.768.335,48	2.528.705,38	1.733.061,34	1.221.583,58	885.877,33	659.528,06
Schefflera macrocarpa	6.935.812,95	5.375.100,19	4.090.508,21	3.103.512,74	2.369.417,36	1.829.102,85
Stryphnodendron adstringens	3.738.303,59	2.505.366,94	1.715.667,73	1.208.690,50	876.226,47	652.192,10
Vochysia elliptica	3.963.922,35	2.682.164,38	1.848.140,88	1.307.228,09	950.153,48	708.473,46

Fonte: Autora.

Tabela 22. Quantidade de carbono estocado (kg) para 4980 indivíduos de cada espécie em intervalos múltiplos de dois anos, para o período de 10 a 20 anos, para áreas de cerrado *sensu stricto* submetido ao tratamento 1.

Espécies	IDADE (Anos)					
	10	12	14	16	18	20
Blepharocalyx salicifolius	6204,511	9830,843	14891,766	21626,382	30273,787	41073,081
Byrsonima crassa	2953,544	4213,171	5971,112	8310,419	11314,145	15065,342
Caryocar brasiliense	2042,995	2639,742	3472,565	4580,809	6003,821	7780,947
Eremanthus glomerulatus	1582,737	1844,417	2209,619	2695,596	3319,601	4098,890
Eriotheca pubescens	3680,512	5469,372	7965,913	11288,082	15553,825	20881,089
Miconia pohliana	5473,026	8566,835	12884,570	18630,216	26007,762	35221,195
Piptocarpha rotundifolia	3745,332	5581,381	8143,779	11553,584	15931,855	21399,649
Schefflera macrocarpa	2034,898	2625,750	3450,346	4547,643	5956,599	7716,170
Stryphnodendron adstringens	3775,421	5633,374	8226,342	11676,826	16107,330	21640,356
Vochysia elliptica	3560,531	5262,045	7636,685	10796,638	14854,094	19921,239

Fonte: Autora.

7. CONCLUSÕES

Nos componentes transporte, máquinas utilizadas durante a construção da obra e supressão dos indivíduos florestais foi quantificada uma emissão de aproximadamente 2.834,07 Mg de CO_2.

Na prognose de estoque de carbono para as dez espécies nativas de cerrado *sensu stricto* analisadas, seriam necessários, no mínimo, o plantio homogêneo de 343.623,34 indivíduos de *Blepharocalyx salicifolius* para que aos 20 anos as emissões quantificadas fossem compensadas e, no máximo, cerca de 3.443.290,90 *de Eremanthus glomerulatus* para que no mesmo período fosse realizada a compensação da emissão calculada.

Considerando o Decreto N° 14.783/93, que determinou o plantio de 4980 mudas nativas para efeito de compensação ambiental *in natura* no estudo de caso, aos 20 anos, em um plantio homogêneo de *Blepharocalyx salicifolius* haveria um máximo de carbono estocado de 41073,08 kg e um valor mínimo de 4098,89 kg para a espécie arbustiva *Eremanthus glomerulatus*. Esses valores são respectivamente 1,44% e 0,14% da emissão total gerada.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados obtidos sobre as emissões de dióxido de carbono envolvidas em certas etapas da construção civil e sobre o estoque de carbono envolvido nas espécies florestais do cerrado *sensu stricto*, permitiu as seguintes inferências:

- os impactos provenientes da construção civil vão muito além da supressão de indivíduos florestais;
- deve-se ter uma atenção especial quanto aos fornecedores dos materiais para a construção, visando aos locais de maior proximidade;
- empresas terceirizadas devem ter um controle das emissões provenientes dos seus serviços;
- as construtoras devem buscar energias limpas e a eficiência nas máquinas utilizadas durante a obra;
- o memorial descritivo do projeto, com o inventário florestal da área, deve descriminar o estoque de carbono presente na área em que a vegetação será suprimida;
- os órgãos responsáveis devem atuar na indicação de espécies florestais com maior produtividade e consequentemente, com maior potencial de estoque de carbono; como

também, ter maior fiscalização quanto aos procedimentos de manutenção quando realizado o plantio.

No desenvolvimento deste trabalho, houve grande dificuldade em verificar a compensação florestal definida para este estudo de caso, causado por uma indefinição da área em que a compensação *in natura* foi estabelecida. O órgão responsável não soube definir essa localização nem disponibilizou informações sobre o processo referente a obra, o que reforça a necessidade de medidas mais rígidas ao tema e que não sejam realizadas compensações ambientais somente com fins jurídicos e legais, sem uma preocupação ambiental quanto a efetividade desta atividade.

9. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A realização de novos trabalhos é importante para responder as questões levantadas, a fim de consolidar e validar as informações obtidas por este estudo e se possível agregar novos fatores que aqui não foram considerados. Um aprofundamento também quanto às espécies nativas que possuam melhor desempenho em estoque de carbono pode propiciar ganhos ambientais quando definida a compensação florestal..

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, H. S. **Estudo numérico da Termo-Aerodinâmica de Câmaras de combustão para turbinas a Gás: Aplicação ao caso de Micro Turbinas.** Tese De Doutorado em Ciencias de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **Manual do Concreto dosado em Central.** ABESC. São Paulo, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14.040: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14.044: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**, 2009.

ATA. **Emissões de Carbono na Construção Civil.** Ativos Técnicos Ambientais, 2009. Disponível em: <http://www.atapart.com.br/2009/06/03/emissoes-de-carbono-na-construcao-civil/>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.

ATHENA**. *Life Cycle of Building Products. Athena Sustainable Materials Institute Canada*** Disponível em: <http://www.athenasmi.org/resources/about-lca/technical-details/>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.

BECHARA, E. **A compensação ambiental para implantação de empreendimentos sujeitos ao EPIA/RIMA e para empreendimentos dispensados do EPIA/RIMA.** In: BENJAMIN, Antonio Herman; LECEY, Eladio; CAPPELLI, Sílvia. (Org.). Mudanças Climáticas, Biodiversidade e Uso sustentável da energia. São Paulo: Imprensa Oficial, v. 1, p. 193-204, 2008.

BRASIL, Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, Art. 225. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 02 de outubro de 2011.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Primeiro Inventário Brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Relatório de Referência: Emissões de gases de efeito estufa da Queima de biomassa no cerrado não-antrópico utilizando dados orbitais,** 2002.

BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Levantamento da fitomassa dos estratos arbóreo e herbáceo-arbustivo da área de influência direta do aproveitamento hidrelétrico Corumbá IV (GO).** ISSN 1676-1340. 2005.

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN J. B. ***Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire.*** *Journal of Tropical Ecology* (1998) 14:263-283, Cambridge University Press, 1997.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. **Estudo Setorial da Construção.** DIEESE. Nº 56, abril de 2011.

DISTRITO FEDERAL, Decreto N° 14.783 de 17 de junho de 1993. Disponível em: <http://www.tc.df.gov.br/silegisdocs/distrital/gdf/decretos/1998/dec-1993-14783-500.htm>. Acesso em: 25 de setembro de 2011.

DISTRITO FEDERAL, Decreto N° 23.585, de 5 de fevereiro de 2003. Disponível em: <http://www.tc.df.gov.br/silegisdocs/distrital/gdf/decretos/2003/dec-2003-23585-500.htm>. Acesso em: 25 de setembro de 2011.

EPB GHG PROTOCOL. Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol. **Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Primeira Edição. Fundação Getúlio Vargas; *World Resources Institute.*

GRIGOLETTI. G. de C.; SATTLER, M. A. **Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 19-32, jul./set. 2003.

IPCC AR-4. ***Cambio climático 2007: Informe de síntesis.*** *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación*)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs, 2007.

JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar. Escola Politécnica da USP (PCC USP).** Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des_sustentavel.htm>. Acesso em: 08 de novembro de 2011.

LIMA, J. A. R de. **Avaliação das consequencias da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas.** São Paulo. 129p, 2010.

McKinsey & Company. **Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil,** 2009. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/40anos/ambiente/pdf/relatorio-mckinsey.pdf>. Acesso em: 08 de novembro de 2011.

Memorial Descritivo do TSE/DF. **Especificações técnicas dos serviços da construção da sede do Tribunal Superior Eleitoral – TSE**. Arquitetura Urbanismo Oscar Niemeyer S/C LTDA.

REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO-FILHO, A.; FELFILI, J. M. **Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF.** Scientia Forestalis, 71:65-76, 2006.

REZENDE, A. V. **Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado *sensu stricto* submetido a diferentes distúrbios por desmatamento.** 243 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. **Fitofisinomias do bioma Cerrado.** *In*: Sano, S.M.; Almeida, S.P. (eds.). Cerrado: Ambiente e Flora. Embrapa, Planaltina, p. 89-166, 1998.

RODRIGUES, M. A. **Aspectos jurídicos da compensação ambiental do art. 36, §1° da Lei Brasileira das Unidades de Conservação (Lei 9.985/2000).** Revista de Direito Ambiental. São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais, 2007, n° 46.

SANTOS, J. R.; ABREU, N. R. **O impacto do marketing verde para as usinas sucroalcooleiras que atuam em Alagoas.** Revista Alcance, v.16, nº 02. ISSN 1983-716-X, UNIVALI p. 201-220, maio/ago 2009.

SPERB, M. R. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 2000.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de pós-gradução em Engenharia Civil. Florianópolis. 2006.

THOMPSON, R. M.. **Estimativas de volume, biomassa e carbono para o carvoeiro: (*Sclerolobium paniculatum Vog. var. subvelutinum Benth*)**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

VALE, A. T. **Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado *sensu stricto* da região de Brasília para uso energético.** 2000. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2000.

VALE, A. T.; FIEDLER, N. C.; SILVA G. F. **Avaliação Energética da Biomassa do Cerrado em Função do Diâmetro das Árvores.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 12, n.2, p. 115-126, 2002.

VALENTE, O. S. **Desempenho e emissões de um motor-gerador de energia elétrica operando com biodiesel.** 140f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Belo Horizonte, 2007.