



**UNIVERSIDADE
EDUARDO MONDLANE**

FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL

Departamento de Engenharia Florestal

Secção de Silvicultura



Tese de Licenciatura em Engenharia Florestal

***Estimativas de Perdas de Carbono Associadas com Mudanças
da Cobertura Florestal***

(Estudo de caso: Distrito de Gondola)

Supervisor: Prof. Doutor Almeida Siteo

Co-supervisora: Dr.^a Orquídea Dos Santos

Autor:

Mavie, Eusébio Boaventura

Maputo, Julho de 2012

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos que directa ou indirectamente contribuíram para minha formação académica, em especial aos meus pais Boaventura Daniel Mavie e Leonor Tomas Mavie.

Dedico-o também aos meus irmãos Danito, Tomás, Zinha e Edna, aos meus sobrinhos Nela e Kelvin, à minha namorada Sara, a todos meus primos, amigos e a família Mavie em geral:

Que o presente trabalho

Sirva de estímulo

Para que acreditem em si,

Encarem desafios e

Lutem pelos seus sonhos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela presença em minha vida, por ter iluminado meu caminho, colocando pessoas sempre dispostas e disponíveis a me ajudar.

Agradecimentos muito especiais ao meu supervisor Prof. Doutor Almeida Siteo, e a minha co-supervisora Dr.^a Orquídea Dos Santos pela paciência, orientações, conhecimentos transmitidos, material disponibilizado e pela pronta disponibilidade em esclarecer minhas dúvidas em todas as fases da realização deste estudo.

Aos meus pais por terem acreditado em mim, me encorajado e apoiado incondicionalmente aos desafios por mim assumidos.

Aos meus irmãos, à tia Alcinda pelo apoio moral, amizade e acima de tudo por terem permitido em nossa casa um ambiente acadêmico.

Á minha namorada, Sara Carlos Quibe pelo apoio, companheirismo e paciência durante a minha formação.

Á toda comunidade da FAEF, especialmente ao Eng.^o Faruk Mamugy pelas valiosas dicas, e aos meus colegas e amigos, Rafael Dos Prazeres (Rafito), Faruk Tavares, Elton Sacugy, Armando Vaz, Valdo Frechauth, Felismino Chocoma, Obadias Wate, Hélder Maleique, Geraldina Gungulo, Amélia Muchanga, Artur Titos, Sérgio De Deus, Clemente Cumbane, Luís Domingos, Aurélio Pais, Euclides Mazive, Hamitom Mateus, Dércio Muxanga, Daniel Nhantave, Júlio Malache, Cátia Namagina, Zélia Malate, Carlos Chirindza, Verela e a todos outros não mencionados, pela amizade e companheirismo.

Ao Departamento de Inventário de Recursos Naturais da Direcção Nacional de Terras e Florestas (DNTF), especialmente aos senhores Mugas, Danilo e Banze pelo apoio, dicas e conhecimentos transmitidos em GIS e Teledeteccção durante o estágio e na elaboração deste estudo.

O meu muito obrigado!

Resumo

Os contínuos aumentos das concentrações atmosféricas de carbono que têm sido registados a nível global, são quase na sua totalidade provocadas por acções antropóicas, principalmente a queima de combustíveis fósseis e as mudanças do uso e da cobertura florestal. Este estudo tem como objectivo, estimar as perdas de carbono associadas com as mudanças da cobertura florestal no distrito de Gondola. A localização deste distrito aliada com as condições agro-ecológicas favoráveis, fazem com que extensas áreas de florestas sejam anualmente convertidas em outros usos, perdendo-se desta forma para a atmosfera, o carbono nelas armazenado. A realização deste estudo baseou-se no método de avaliação da variação do stock de carbono, através da determinação e variação do stock de biomassa lenhosa acima do solo entre 1994 e 2008, com base na equação: $B_j = 0.056DAP^{2.59}$. Os resultados mostram que 59.65% (354327.03 ha) da área total do distrito mudaram de cobertura, e os restantes 40.35% (239731.65 ha) mantiveram. No que tange às áreas de mudanças, verificou-se a perda de 15959.7 hectares (27.5%) de floresta densa (FD) e de 49853.16 ha (23.07%) de outras formações lenhosas (OFL). Verificou-se também o aumento de 8620.74 ha (6.38%) de floresta aberta (FA), 49853.16 ha (30.1%) de áreas de agricultura e 116663.73 ha (34.76%) de outras áreas (OA). Agrupando as transições de uma para outra classe cobertura em 2 grupos, mudanças negativas (perdas da cobertura) e mudanças positivas (ganho da cobertura) o maior fluxo registou-se entre a transição de outras formações lenhosas para áreas de agricultura, floresta aberta para áreas de agricultura e floresta aberta para outras formações lenhosas. Nas mudanças positivas, predominam as transições de outras formações lenhosas para floresta aberta, áreas de agricultura para outras formações lenhosas, e áreas de agricultura para florestas abertas. Nas classes de cobertura florestal (FD, FA e OFL) o stock médio de biomassa lenhosa acima do solo foi estimado em 45.9 t/ha nas OFL, 108.09 t/ha na FA e 121.14 t/ha na FD. O que em termos de stock de carbono corresponde a 22.95; 54.04 e 60.57 tC/ha, respectivamente. Em 1994, o stock total de carbono era de 15775490.12t e em 2008 baixou para 14130692.71t, tendo-se perdido 1644797.41t, correspondentes a 117485.53 tC de perdas anuais.

Palavras-chave: Teledeteção, Mudanças de cobertura, Biomassa, Perdas de carbono

Lista de abreviaturas

AIFM	Avaliação Integrada das Florestas Moçambicanas
DAP	Diâmetro a Altura do Peito
DEF	Departamento de Engenharia Florestal
DNTF	Direcção Nacional de Terras e Florestas
FAEF	Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
FAO	Programa das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GIS	Sistemas de Informação Geográfica
GPS	Sistema de Posicionamento Geográfico
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPCC	Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas
IAF	Índice de área foliar
MAE	Ministério da Administração Estatal
MICOA	Ministério para a Coordenação da Acção da Ambiental
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
UTM	<i>Universal Transversal Mercator</i>
FD	Floresta densa
FA	Floresta aberta
OFL	Outras formações lenhosas
AG	Áreas de agricultura
AO	Outras áreas (Inclui áreas habitacionais, rochas, solo nú)

Compostos químicos e unidades de medição

CO₂Dióxido de carbono

CH₄Metano

N₂OÓxido nitroso

ppmPartes Por Milhão

GgGiga grama

tC.....Toneladas de carbono

ha.....Hectares

tC/ha.....Toneladas de carbono por hectare

tC/ha/ano.....Toneladas de carbono por hectare por ano

Km.....Kilometros

m.....Metros

tCeq.Toneladas de carbono equivalente

Lista de tabelas

Tabela 1. Factores de emissão de carbono por regiões do mundo em t métricas de Ceq.

Tabela 2. Emissões de Carbono nas florestas tropicais em Gt/ano

Tabela 3. Divisão administrativa

Tabela 4. Número de parcelas e total de área amostrada por classe de cobertura

Tabela 5. Esquema da matriz de confusão ou de erros

Tabela 6. Área ocupada por cada classe de cobertura em 1994 e 2008

Tabela 7. Matriz das mudanças da cobertura

Tabela 8. Fluxo das mudanças da cobertura

Tabela 9. Biomassa e stock de carbono por classe de cobertura florestal

Tabela 10. Variação do stock de carbono por classe da cobertura florestal

Tabela 11. Balanço de carbono em t/ano

Lista de equações

- (1)Equação de conversão de volume em biomassa
- (2)Equação do Índice Normalizado de Diferença de Vegetação
- (3)Equação de Biomassa por árvore no distrito de Gondola
- (4)Equação de Biomassa por formação florestal
- (5)Equação de conversão de biomassa em carbono
- (6)Equação de variação do stock de carbono
- (7)Equação o índice de exactidão global
- (8)Equação do índice Kappa
- (9)Equação de erro de comissão
- (10)Equação de erro de omissão

Lista de figuras

Figura 1. Esquema simplificado do ciclo de carbono nos ecossistemas terrestres

Figura 2. Mapa de localização da área de estudo

Figura 3. Mapa da rede hidrográfica do distrito de Gondola

Figura 4. Mapa de uso e cobertura de terra do distrito de Gondola

Figura 5. Intervalo de perfeição da classificação de imagens índice Kappa (K)

Figura 6. Esquema metodológico do estudo

Figura 7. Áreas de floresta densa

Figura 8. Áreas de floresta aberta

Figura 9. Áreas de outras florestas lenhosas

Figura 10. Áreas de agricultura

Figura 11. Mapas de cobertura de 1994 e 2008

Figura 12. Mapa das mudanças de cobertura entre 1994 e 2008

Figura 13. Mapas de stock de carbono em 1994 e em 2008

Figura 14. Áreas de perdas e de ganho de carbono

Índice

Dedicatória	ii
Agradecimentos	iii
Lista de abreviaturas	v
Lista de equações	vii
Lista de figuras	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema do estudo e justificação do tema.....	2
1.2. Objectivos	4
1.2.1. Geral:	4
1.2.2. Específicos.....	4
1.3. Limitações do estudo.....	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Teledetecção como uma ferramenta de detecção de mudanças de cobertura	5
2.2. Efeito de estufa e aquecimento global.....	6
2.3. Alguns Gases de Efeito de Estufa (GEE).....	6
2.3.1. Dióxido de carbono.	6
2.3.2. Metano.....	6
2.3.3. Óxido Nitroso	7
2.3.4. Vapor de água.....	7
2.4. Ciclo de Carbono nos Ecossistemas Terrestres	7
2.4.1. Papel das Florestas no Ciclo de Carbono	8
2.4.2. Papel de Outros Componentes dos Ecossistemas Terrestres no Ciclo do Carbono.	9
2.5. Factores de emissão de carbono (CO ₂) nos ecossistemas Terrestres	10
2.6. Métodos de estimativas de CO ₂ nos ecossistemas terrestres.....	12
2.7. Impactos das mudanças de cobertura florestal no balanço de CO ₂	13
2.8. Biomassa.....	13
2.9. Métodos de medição de biomassa	13
2.9.1 Método directo (destrutivo).....	14
2.9.2. Métodos indirectos	15
3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.1. Localização e limites da área do estudo.....	18
3.2. Clima	19
3.3. Divisão administrativa	19
3.4. Solos	19
3.5. Hidrografia.....	20
3.6. Uso e cobertura de terra	20
3.7. População e actividades económicas.....	21
4. MATERIAIAS E MÉTODOS	22
4.1. Processamento das imagens	22

4.2. Classificação das imagens de satélite: Fase I.....	22
4.3. Amostragem	24
4.3.1. Inventário dendrométrico	24
4.4. Classificação das imagens de satélite: Fase II.....	25
4.5. Análise e Processamento de Dados.....	26
4.5.1. Identificação das áreas de mudanças de cobertura florestal	26
4.5.2. Estimativa de áreas e os fluxos de mudanças florestais	26
4.5.3. Determinação da Biomassa e do Stock de Carbono	27
4.5.4. Determinação do Balanço de Carbono	28
4.5. Avaliação e Validação da Exactidão da Classificação	29
4.6. Esquema-resumo da metodologia empregue no estudo.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Características gerais das classes de cobertura	33
5.1.1. Floresta densa	33
5.1.2. Floresta aberta	34
5.1.3. Outras formações lenhosas	34
5.1.4. Áreas de agricultura.....	35
5.2. Áreas de Mudança de Cobertura	37
Figura 12. Mapa das áreas de mudanças de cobertura.....	39
5.2. Áreas e fluxos de Mudança de cobertura	40
5.2.1. Áreas.....	40
5.2.2. Fluxo de mudanças de cobertura	42
5.3. Biomassa e Stock de carbono.....	43
5.4. Balanço de carbono.....	43
5.5. Avaliação da precisão e validação da classificação	48
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	49
6.1. Conclusões.....	49
6.2. Recomendações	50
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
8. ANEXOS	a
1. Actividades que provocam as mudanças da cobertura florestal no distrito de Gondola ..a	
A. Exploração de madeira	a
B. Produção de carvão.....	a
C. Prática da agricultura itinerante	b
2. Coordenadas dos pontos amostrais	c

1. INTRODUÇÃO

As emissões dos gases de efeito de estufa (GEE) tornaram-se nos últimos anos a maior preocupação ambiental a nível global (Kuntoro, 2009), e têm ganho cada vez mais especial atenção no seio da comunidade científica, mercê do contínuo aumento das suas concentrações atmosféricas. O dióxido de carbono é considerado o principal GEE, o responsável por cerca de 60% da intensificação do efeito de estufa e portanto pela, perturbação energética entre a terra e o espaço e pelas mudanças climáticas que têm sido verificadas (Fernandes, 2003).

Desde o início da revolução industrial, na segunda metade do século XVIII, as concentrações atmosféricas de carbono passaram de 280 ppm (Partes por milhão) para as actuais cerca de 390 ppm (Denman *et. al.*, 2007). Este aumento deve-se à intensificação das actividades antropogénicas, principalmente a queima de combustíveis fósseis (70%) e a mudança do uso e da cobertura da terra (30%) (Sabine *et al.*, 2004).

Com o aumento da consciencialização sobre as mudanças climáticas globais e seus impactos, vários países envolveram-se em tentativas de luta para a estabilização das emissões dos GEE, e culminaram com assinatura do protocolo de Kyoto em 1997, que entre outros aspectos estabelece obrigações e responsabilidades aos países signatários. Ao abrigo do artigo 4.1 (a) do referido protocolo, todos os países signatários devem desenvolver, actualizar e fornecer à UNFCCC (Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas) informações sobre inventários de gases de efeito de estufa nos seus países (MICOA, 2010).

Os ecossistemas florestais são tidos como reservatório de carbono, pois capturam e armazenam o carbono atmosférico nas suas componentes (biomassa, solo e matéria orgânica). Contudo (Parker *et. al.*, 2009), reportaram que a nível global cerca de 13 milhões de hectares de áreas florestais são anualmente convertidos em outros usos de terra, o que corresponde a 20% das emissões globais de carbono, tornando a mudança de cobertura e de uso de terra o segundo maior factor que contribui para o aquecimento global.

Em Moçambique, 70% do território está coberto por formações vegetais, sendo 51% coberto por florestas e 19% por outras formações lenhosas. Porém, 0.58% (219000 ha) da cobertura total perde-se anualmente (Marzoli, 2007). No corredor da Beira, onde se situa o distrito de Gondola, estas perdas resultam principalmente da prática de agricultura, exploração de lenha e carvão, exploração de madeira e de incêndios florestais (Argola, 2004).

As perdas da cobertura dos ecossistemas florestais, intensificaram a nível global o desenvolvimento de métodos com vista a quantificar os fluxos de carbono nesses ecossistemas. As técnicas de teledetecção aliadas com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm se mostrado de extrema relevância e bastante aplicados uma vez que proporcionam uma visão sinóptica de áreas muito grandes, permitem avaliar áreas de difícil acesso e assim como detectar pequenas alterações da cobertura (Ryan *et. al*, 2011).

Entre 1994 e 2004, Moçambique emitiu anualmente cerca de 13 409.89 Gg de CO₂ directo, desta quantidade, a maior contribuição foi do sector das mudanças no uso de terras e silvicultura com 87,34%, seguido do sector de energia com 10.23% (MICOA, 2010). Porém, ainda existem muitas incertezas quanto ao papel das mudanças de uso e cobertura de terra em ambientes tropicais nas emissões de carbono (Aguiar *et. al.*, 2009) uma vez que o conhecimento sobre as taxas de variação das florestas tropicais continua limitado, e a incerteza destas taxas tem implicações na estimativa global das emissões de carbono. (Achard *et. al.*, 2004).

1.1. Problema do estudo e justificação do tema

As mudanças da cobertura florestal e do uso de terra são a principal causa da perda de carbono florestal, e contribuem para o aumento das concentrações atmosféricas deste gás de efeito de estufa e por conseguinte na alteração do equilíbrio energético entre a terra e a atmosfera (IPCC, 1995).

Fazendo uma análise comparativa dos resultados do inventário florestal nacional de Saket (1994) com o de Marzoli (2007), nota-se que a taxa de desmatamento passou de 0.21% para 0.58%. Kanounnikoff *et al.*, (2011) afirmam que maior parte das áreas

desflorestadas são as de florestas de Miombo, geralmente nas áreas muito acessíveis, perto de cidades, estradas e linha férrea. O distrito de Gondola é atravessado pelo corredor da Beira, linha férrea, e é neste distrito que se encontra a maior cidade da província de Manica, a cidade de Chiomoio. Este facto leva a que extensas áreas florestais sejam intensamente exploradas, principalmente para a prática de agricultura, exploração de madeira e para produção de lenha e carvão, o que resulta em perda de carbono nelas armazenado.

A preocupação com o aumento das concentrações de carbono na atmosfera não é recente, tendo-se vindo a estudar a melhor maneira de controlar as suas emissões. O protocolo de Kyoto, no âmbito da Conferência Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (UNFCCC), introduziu instrumentos com vista a tornar mais eficiente o controlo de tais emissões e para que esses instrumentos sejam implementados é necessário que os países signatários inventariem as suas emissões (Silva *et. al.*, 2006).

Nesse contexto, o Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental (MICOA) realizou um Inventário Nacional de Gases de Efeito de Estufa emitidos entre 1994-2004 contudo, admite fragilidades quanto à sua fiabilidade particularmente no sector de mudanças do uso da terra e silvicultura, devido à variação nas origens e metodologias de recolha de dados. A mesma fonte refere que grande parte dos factores de conversão usados nesse inventário é recomendado pelo IPCC-1996 para características consideradas similares às de Moçambique, o que este autor considera que pode constituir de algum modo, uma fonte de erro sistemático e pôr em causa a fiabilidade dos resultados obtidos (MICOA, 2010).

Wirth *et. al.*, (2004) estimaram a biomassa a partir dos mesmos dados de inventário florestal usando factores de biomassa do IPCC e de outras cinco fontes diferentes, e concluíram que todas as estimativas realizadas diferiram em torno de 40% em relação às com a estimativa baseada nos factores de biomassa do IPCC.

Em face à magnitude da diferença verificada por Wirth *et. al.*, (2004), e tendo em conta que o MICOA (2010) também usou factores de conversão do IPCC para estimar

as emissões de carbono no âmbito do Inventário Nacional de Gases de Efeito de Estufa, a realização do presente estudo impõe-se com toda a urgência no contexto de luta global para a redução de GEE uma vez que as informações a respeito do ciclo de carbono nos ecossistemas africanos em geral, e moçambicanos em particular continuam ainda escassas. Este estudo pretende estimar as perdas de carbono, estimados com base nos factores de mudança de cobertura locais e actualizados. O mesmo, poderá servir de base para determinar a participação relativa desta fonte (mudança de cobertura florestal) no total das emissões de carbono no país, para avaliação do potencial do sequestro de carbono, assim como servir de alerta para adopção de práticas mais racionais de uso de terra, voltados para a minimização das perdas de carbono florestal.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral:

Estimar perdas de carbono florestal associadas com a mudança de cobertura florestal no distrito de Gondola.

1.2.2. Específicos

- ❖ Identificar as áreas das mudanças de cobertura florestal;
- ❖ Estimar as áreas e os fluxos das mudanças florestais no distrito de Gondola;
- ❖ Determinar a biomassa lenhosa acima do solo e o stock de carbono florestal com base em relações alométricas;
- ❖ Estimar o balanço de carbono no distrito de Gondola;

1.3. Limitações do estudo

A indisponibilidade de imagens de satélite aniversariantes (datas coincidentes) pode ter constituído fonte de erro na classificação devido à diferença da reflectância como resultado da diferença da insolação entre as épocas das imagens usadas. Este facto obrigou que fossem feitos dois campos de treinamento para a classificação digital supervisionada das imagens. A imagem de 2008 apresenta alguma percentagem de nuvens (<10%) e pode ter sido fonte de alguns erros pois não está garantida a correcção em 100% e durante a correcção poder-se-á ter cometido pequenos erros de comissão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Teledeteccção como uma ferramenta de deteccção de mudanças de cobertura

Ribeiro *et. al.* (2012); Petta *et. al.* (2008); IPCC (2006) consideram teledeteccção uma forma de obtenção de informações sobre a superfície da terra através da interpretação de dados adquiridos pelos sensores a bordo de satélites. A sua utilização é baseada em técnicas da interpretação supervisionada e não-supervisionada de imagens de satélites, sendo mais vantajoso, de acordo com Diallo *et. al.*, (2009) a utilização da classificação supervisionada uma vez que o classificador possui informações da área de estudo.

A utilização da teledeteccção para a deteccção de mudanças de cobertura de florestal deve-se ao facto de estas resultarem na alteração dos valores de reflectancia, os quais podem ser detectados pelos sensores (Zubair, 2006) e para além de oferecerem uma visão sinóptica de áreas muito grandes, a forma digital na qual são disponíveis torna as análises mais eficientes e a produção dos mapas é feita a custos relativamente baixos (Diallo *et. al.*, 2009). Com tudo, o sucesso da sua utilização não só depende da selecção cuidadosa de dados e métodos apropriados, mas também da combinação com técnicas convencionais (Jansen, 2006).

Marzoli (2007) no âmbito do projecto AIFM usou as técnicas da teledeteccção para avaliar a mudança de cobertura florestal no país, onde recorreu ao método multi-temporal para comparar as imagens de duas épocas, 1990 e 2004. Os resultados mostraram por exemplo na província de Manica que ao longo deste período foram desflorestadas 348000 ha de florestas densas e 82123 ha de florestas abertas, sendo a maior parte das áreas desflorestadas sido convertidas em áreas de agricultura.

Existem várias técnicas de deteccção de mudanças de cobertura que não serão discutidos neste estudo. Estas técnicas são normalmente empregues em trabalhos que envolvem a comparação do total de mudanças por tipo de cobertura, taxa de mudança de cobertura assim como em caso de estudos de avaliação de desmatamento, uso e ocupação de terra (Kiel, 2008).

2.2. Efeito de estufa e aquecimento global

Segundo Escobar (2008) o efeito de estufa é um mecanismo natural de aquecimento da terra que resulta da capacidade que alguns gases como vapor de água, CO₂, CH₄, N₂ entre outros presentes na atmosfera, conhecidos como Gases de Efeito de Estufa (GEE) têm de reter na terra a radiação solar, mantendo a temperatura média em níveis adequados para a existência dos seres vivos. Contudo, quando as concentrações de tais gases aumentam significativamente, aumenta também a proporção média da radiação retida na terra, resultando em aquecimento global (Lal *et. al.*, 1995).

2.3. Alguns Gases de Efeito de Estufa (GEE)

2.3.1. Dióxido de carbono.

As concentrações de CO₂ na atmosfera têm vindo a registar continuamente subidas significativas desde o início da revolução industrial. O IPCC (2007) considera este gás o mais importante GEE antropogénico, e refere que as suas emissões anuais registaram no período entre 1970 a 2004 um crescimento de cerca de 80%. Fernandes (2003) vai mais longe, afirmando que o mesmo tem um período mínimo de permanência na atmosfera estimado em cerca de 100 anos, o que significa que as emissões do presente têm efeitos de longa duração, podendo resultar em impactos no regime climático ao longo de séculos.

Segundo Helene *et al.*, (1994) as emissões de CO₂ para a atmosfera são principalmente provocadas pelas actividades humanas, a queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural) e a destruição e queima de florestas. Carvalho *et al.*, (2002) citado por Fernandes (2003) refere que as emissões de carbono representam aproximadamente um total de 55% do total de emissões mundiais de GEE.

2.3.2. Metano

Embora presente em quantidades muito pequenas na atmosfera (1.72 ppmv), o metano é responsável por aproximadamente 20% do aquecimento global. Segundo Carvalho *et al.*, (2002) citado por Fernandes (2003) a quantidade de metano emitido para a atmosfera é bem menor que a do carbono, mas o seu poder de estufa (potencial de aquecimento) é 20 vezes maior que o do carbono. Desde o início da revolução industrial, a sua concentração subiu cerca de 145% (Araújo, 1999). O IPCC (2007)

considera que este aumento seja provavelmente devido à agricultura e a utilização de combustíveis fósseis e Araújo (1999), cita os processos digestivos do gado e de outros ruminantes, o cultivo de arroz e a exploração do carvão mineral como sendo as principais fontes de emissão do metano.

2.3.3. Óxido Nitroso

Desde a revolução industrial houve um aumento considerável do óxido nitroso na atmosfera, passando de 270 partes por bilhão (ppb) para 314 ppb em 1998 (IPCC, 2001a). Este gás é emitido principalmente pelas queimadas, emissões de gases industriais e pelas actividades agrícolas (Araújo, 1999).

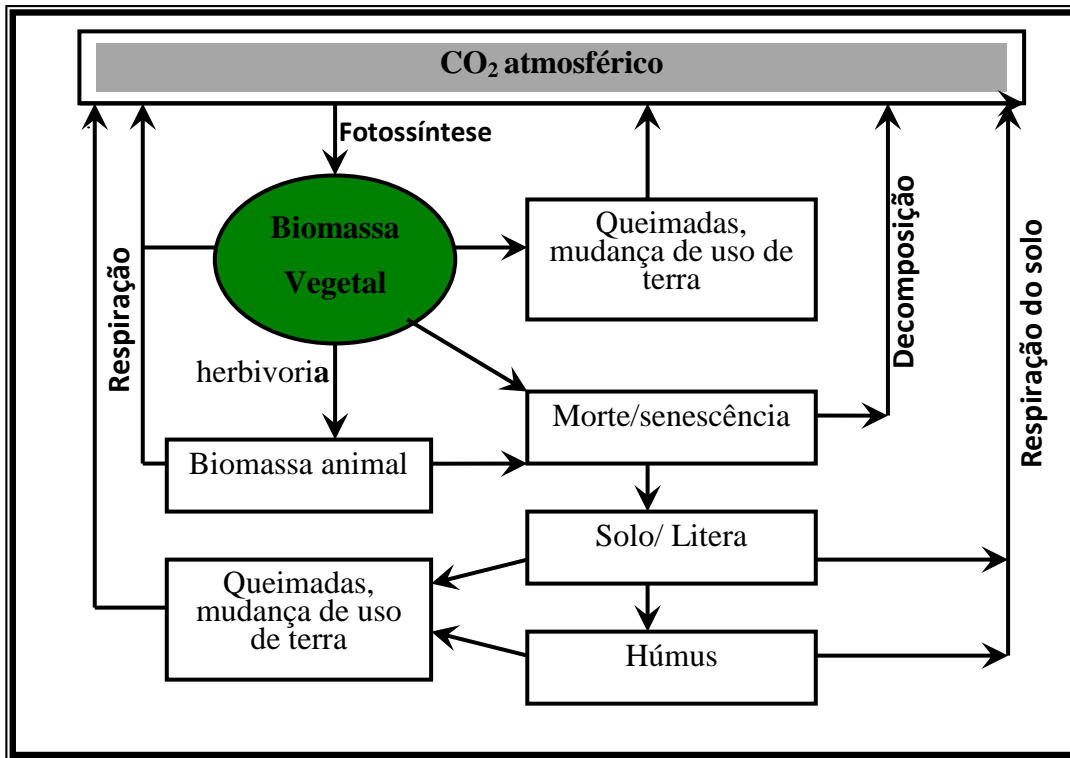
2.3.4. Vapor de água

De acordo com Escobar (2008) o vapor de água está presente na atmosfera em altas concentrações e é responsável por 80% do efeito de estufa natural e os 20% restantes são devido aos outros gases presentes na atmosfera em concentrações muito pequenas porém, com contribuição significativa para o efeito de estufa.

2.4. Ciclo de Carbono nos Ecossistemas Terrestres

No geral, o ciclo de carbono compreende as trocas deste gás entre a atmosfera, a terra e os oceanos. Os oceanos representam o maior reservatório de C com 39120 Gt, seguido da terra (ecossistemas terrestres) com 2190 Gt e a atmosfera, o menor de todos com 754 Gt (Sulzman, 2000) estando sujeita a grandes alterações (Sotta, 1998).

Sulzman (2000), afirma que nos ecossistemas terrestres, as plantas, os solos e os animais, emitem o CO₂ para a atmosfera através da respiração, decomposição, queimadas e mudança de uso e cobertura de florestas. Esse carbono é depois reincorporado nas plantas que segundo Siteo e Tchaúque (2007), absorvem o CO₂ da atmosfera e água através da fotossíntese e transformam-no em hidratos de carbono que compõem a sua biomassa. Conforme Sotta (1998) o carbono contido na biomassa é por sua vez incorporado no solo quando a planta ou parte desta morre e cai no solo ou através de herbivoria. O ciclo de carbono nos ecossistemas terrestres pode ser explicado pelo esquema da figura 1 a seguir:



Fonte: Adaptado de Siteo e Tchaúque (2007) e de Sotta (1998)

Figura 1. Esquema simplificado do ciclo de carbono nos ecossistemas terrestres

2.4.1. Papel das Florestas no Ciclo de Carbono

As florestas desempenham um papel importantíssimo no ciclo global do carbono pois, constituem o maior reservatório de carbono de todos os ecossistemas terrestres. Elas absorvem o carbono atmosférico através da fotossíntese e armazenam-no nos tecidos vegetais e no solo (Campos, 2001).

As estimativas globais de carbono armazenado nas florestas situam-se nos 283 Gt armazenados nos tecidos vegetais vivos, trinta e oito Gt armazenados no material orgânico morto e ainda 317 Gt que se encontram armazenados no solo na forma de carbono orgânico entre zero a trinta cm de profundidade. Portanto, no geral os ecossistemas florestais de todo o mundo contém 638 Gt de carbono (FAO, 2006), o que de acordo com (Lal, 2005) representa 70% do carbono terrestre global.

Salati (1994) considera que as florestas armazenam nas árvores e no solo mais carbono do que o existente actualmente na atmosfera e, Hosokawa (1998) citado por Fernandes (2003) salienta que com a destruição das florestas, a maior parte do carbono armazenado nas árvores e no solo é libertada rapidamente para a atmosfera, por meio de queimadas, ou mais lentamente através de decomposição do material vegetal morto. No entanto, o mesmo autor acrescenta que se as áreas desmatadas forem reflorestadas, o carbono é mais uma vez retirado da atmosfera e armazenado na superfície da terra.

2.4.2. Papel de Outros Componentes dos Ecossistemas Terrestres no Ciclo do Carbono

2.4.2.1. Solo

As plantas assimilam o carbono atmosférico através da fotossíntese e alguma parte deste carbono é re-emitido para a atmosfera através da respiração. O carbono que permanece como tecido vegetal é em seguida consumido por animais ou incorporado ao solo quando as plantas morrem e se decompõem (Sotta, 1998)

De acordo com Ciaís et al., (2011), no solo o carbono é principalmente armazenado sob forma de carbono orgânico, uma mistura complexa de compostos de carbono que consiste na decomposição de plantas e tecidos animais, micróbios (Protozoários, nemátodos, fungos e bactérias) e de carbono associado com os minerais do solo. Ferez (2010), acrescenta que o carbono pode permanecer armazenado no solo por milénios ou ser rapidamente libertado para a atmosfera através de queimadas e mudanças de uso de terra e de cobertura florestal.

2.4.2.2 Material orgânico morto

IPCC (2006) refere que quando os organismos vegetais morrem, a biomassa em si contida é eventualmente transferida para o reservatório denominado material orgânico morto (árvores mortas e litera). Uma parte desta biomassa é rapidamente decomposta, re-emitindo o carbono que contém para a atmosfera e a outra parte é retida na superfície ou abaixo do solo, por anos ou décadas. O stock de carbono neste reservatório é bastante influenciado pelo uso e manejo da terra em face da alteração da taxa de decomposição.

2.5. Factores de emissão de carbono (CO₂) nos ecossistemas Terrestres

Rescoe (2003) considera que as actividades humanas são as principais causas de emissões de C sendo a queima de combustíveis fósseis (Petóleo, Carvão e Gás natural) o factor que mais emite, seguido das mudanças de cobertura de terra, oriundas de diferentes formas de seu uso, associadas ao desmatamento. Segundo Watson *et. al.*, (2000), nos últimos 150 anos as emissões decorrentes das mudanças de uso e cobertura de terra situaram-se em 136±55 Gt.

Os factores de emissão de carbono nos ecossistemas florestais podem ser usados para estimar as emissões anuais deste gás, associadas com mudanças de uso e cobertura de terra. Estes factores são utilizados para a conversão de mudanças de uso e cobertura de terra em emissões de carbono. Quando as emissões são determinadas a partir de medições (directas ou não) são consideradas emissões directas, e indirectas quando são determinadas apenas através factores pré-definidos Rescoe (2003).

Conforme Tyner *et. al.*, (2010) as emissões directas consistem do carbono armazenado na vegetação e no solo emitidos quando as florestas são convertidas em outros usos (não florestais) e as emissões indirectas correspondem ao stock de carbono que teria sido sequestrado anualmente pelo crescimento das florestas, se estas áreas não tivessem sido desflorestadas. Os mesmos autores referem que quando as florestas são convertidas para outros usos, principalmente agrícola, perde-se para a atmosfera 25% do carbono armazenado no solo e 75% do carbono armazenado na vegetação. A tabela 1 que se segue, mostra factores de emissão de carbono nos ecossistemas florestais em diferentes regiões do mundo.

Tabela 1. Factores de emissão de carbono por regiões do mundo em tCeq.

Continente	Regiões	Factor de emissão de C nos ecossistemas florestais
América	Estados Unidos	19.6
	Canadá	15.3
	América do Sul	16.1
Europa	Europa	18.6
	Rússia	14.1
África	África Sub Sahariana	10.4
	África do Norte e central	12.2
Ásia	Este da Ásia	13.2
	Japão	
	Sul da Ásia	23
	Malásia	
	Indonésia	

Fonte: adaptado de Tyner *et. al.*, (2010)

Muitos investigadores têm se dedicado a quantificar as emissões de C nos ecossistemas terrestres, mas existe muita incerteza nos reais valores, principalmente nas zonas tropicais uma vez que estes apresentam valores discrepantes, como a seguir indica a tabela 2

Tabela 2. Emissões de Carbono nas florestas tropicais em Gt/ano

Região	Fearnside (2000) 1981-1990	Malhi e Grace (2000) 1980-1995	Houghton (2003b) Década 1990	DeFries <i>et. al.</i> , (2002) Década 1990	Archard <i>et. al.</i> , (2004) Década 1990
América	0.94	0.94	0.75	0.43	0.441
África	0.42	0.36	0.35	0.12	0.157
Ásia	0.66	1.08	1.09	0.35	0.385
Total	2.02	2.38	2.19	0.9	0.983

Fonte: UNFCCC (2007)

2.6. Métodos de estimativas de CO₂ nos ecossistemas terrestres

De acordo com IPCC (2006) as estimativas de perdas e acumulação de carbono (fluxos de carbono), no sector de florestas são feitas através da avaliação da variação do stock de carbono entre um determinado intervalo de tempo (t1 e t2) suficientemente longo para que tenham havido alterações significativas na biomassa. Asnar (2009) refere que para se determinar esta variação torna-se necessário fazer-se a medição da taxa de mudança de cobertura (taxas de desflorestamento) e do stock de carbono armazenado nas diferentes formações florestais. No entanto, a equidade da área entre t1 e t2 deve ser garantida (IPCC, 2006). A biomassa por sua vez pode ser determinadas através de métodos directos (inventários) ou indirectos (Siteo e Tchaúque, 2007, Brown *at. al.*, 1997).

O IPCC (2006) recomenda que estas estimativas tenham que ser feitas em cada categoria, incluindo as áreas que mudaram de um tipo de cobertura para outro e aquelas que mantiveram a cobertura durante um determinado período (ano 1 e ano 2).

O inventário florestal representa o método padrão de medição de carbono actualmente utilizado para avaliação de semidouros de carbono no âmbito do fornecimento de informações sobre GEE à UNFCCC (Houghton *at al.*, 1997) porém, Prentise *et. al.*, (2001) salientam que o uso de inventário florestal ainda suscita muitas incertezas no balanço global das estimativas de CO₂ nos ecossistemas terrestres.

Para Pearson *et. al.*, (2007) o stock de carbono é estimado com maior precisão quando se usa método directo, o caso de inventário florestal pois, segundo Schneider *et al.*, (2004) consegue-se abranger com maior realidade as fontes de variação dos dados básicos acerca do volume por hectare, em todos os tipos florestais e sob diferentes condições biológicas.

Este método, para além da medição dos parâmetros da árvore (exemplo DAP), pressupõe também o abate das árvores amostradas (Gibbs *et al.*, 2007). Ainda segundo os mesmos autores, este método é vantajoso para áreas pequenas e torna-se impraticável em áreas grandes, pois é moroso, caro e destrutivo.

Nos últimos anos tem-se desenvolvido alternativas metodológicas de medição de fluxo de carbono nos ecossistemas terrestres, dentre os quais, Linder e Karjalainen (2007) citam modelos que medem a sua concentração na atmosfera, a utilização do remote sensing, modelos de simulação e modelos que relacionam a retenção de nitrogénio e carbono.

2.7. Impactos das mudanças de cobertura florestal no balanço de CO₂

De acordo com Gibbs *et. al.*, (2007) e (Parker *et. al.*, 2009) a destruição de florestas tropicais é responsável por 20% de emissões antropogénicas globais de carbono, e Houghton (1999) considera que o desflorestamento tem sido desde 1850 responsável por 90% de emissões de CO₂ devido a mudança de uso de terra.

A conversão de áreas de vegetação natural em áreas agrícolas é tida como a maior fonte de emissão de CO₂, não só pela perda da biomassa mas, também pelo aumento da decomposição da matéria orgânica do solo (Prentise *et al.*, 2001).

2.8. Biomassa

Sitoe e Tchaúque (2007) definem biomassa como a quantidade de material orgânico que constitui os seres vivos de um ecossistema numa determinada área, podendo ser expressa em peso, volume ou área. Para o caso de ecossistemas florestais, Brown (1997) define biomassa com sendo a quantidade de material orgânico seco em estufa que se encontra sobre a superfície do solo em árvores, expresso em toneladas por unidade de área.

Ainda no contexto de biomassa florestal, Silveira (2008) acrescenta que para além da biomassa acima do solo composta por árvores e arbustos, a biomassa florestal inclui a biomassa morta acima do solo e a biomassa abaixo do solo, composta por raízes.

2.9. Métodos de medição de biomassa

Os estudos de quantificação de biomassa florestal dividem-se em métodos directos (destrutivos) ou determinação e métodos indirectos ou estimativas. Determinação significa uma medição real feita directamente na biomassa, através da pesagem dos compartimentos da árvore (Raiz, fuste, folhas e ramos) e implica abate da floresta (Silveira, 2008).

Os métodos indirectos no caso das estimativas de biomassa aérea, consistem em correlacionar a biomassa com alguma variável de fácil medição e que não requeira destruição do material vegetal. Estas estimativas podem ser feitas através de relações matemáticas, de razão ou regressão de dados provenientes de inventários florestais (DAP, altura, volume), por dados de teledeteção (imagens de satélite), (Siteo e Tchaúque, 2007; Silveira, 2008)

2.9.1 Método directo (destrutivo)

Conforme Siteo e Thauque (2007) neste método as árvores amostradas são abatidas e a quantidade depende da sua variabilidade numa relação directa. Porém, Rutherford (1982) citado por Siteo e Tchaúque (2007) sugere 30 árvores ou menos principalmente se tiverem crescimento uniforme ou se forem árvores raras.

Em cada árvore abatida regista-se as medidas do DAP (medição da árvore em pé) e o comprimento (árvore caída). Em seguida, a árvore é seccionada e pesada por componentes separadas para facilitar o processo (fuste, ramos grossos, ramos finos e folhas) e depois estabelecer as relações de distribuição de biomassa por componente.

Em cada componente, leva-se amostras para o laboratório onde são submetidas a uma secagem em estufa até um peso constante (Siteo e Tchaúque, 2007).

Este método é usado em áreas onde não existem parâmetros de estimação de biomassa por métodos indirectos. Quanto maior for o tamanho da amostra, maior é a precisão contudo, acarreta elevados custos económicos e ecológicos.

Conforme Siteo e Tchauque (2007) e Silveira (2008), o método directo de medição de biomassa pode ser agrupado em duas categorias: método da árvore individual e método de amostragem por parcela.

2.9.1.1. Árvores individuais

De acordo com Siteo e Tchaúque (2007) quando a unidade de amostragem é a árvore individual, obtêm-se funções alométricas e podem ser utilizadas para avaliar espécies isoladamente. Os mesmos autores consideram importante que para além do número de árvores amostradas, sejam representadas árvores de todos os tamanhos (grandes, médias e pequenas) nas mesmas proporções ou todas as espécies existentes na área de

modo a garantir a representatividade da amostra. Silveira (2008) afirma que estas características (tamanho, espécies e quantidade) são obtidas mediante a realização de um inventário piloto.

Sitoe e Thaúque (2007) salientam que este método pode ter uma limitação em ecossistemas naturais com alta diversidade de espécies ou no caso de espécies pouco abundantes uma vez que pode ser difícil encontrar amostras suficientes para garantir representatividade estatística de cada categoria. Neste caso segundo os mesmos autores, deve-se considerar o objectivo da medição e caso seja caracterização do ecossistema, eles recomendam a amostragem por parcelas.

2.9.1.2. Parcelas de amostragem

Conforme Silveira (2008); Sitoe e Tchaúque (2007), neste método todas as árvores nas áreas pre-definidas (parcelas) são abatidas e pesadas; e nem sempre é importante identificar espécies, uma vez que o objectivo é produzir funções de biomassa que caracterizam determinadas formações florestais (Sitoe e Tchaúque, 2007). Uma grande vantagem deste método é que permite o conhecimento detalhado da biomassa nas diferentes formações florestais Salati (1994). Para Sitoe e Thaúque (2007) neste método pode-se incluir informações sobre as espécies, das quais se pode obter as mesmas medidas como as que se obtêm aplicando a amostragem em árvores individuais. Porm, Brown *et. al.*, (1989) consideram que as estimativas geradas por este método não são confiáveis porque baseiam-se em poucas parcelas, pequenas e tendenciosamente escolhidas.

2.9.2. Métodos indirectos

De acordo com Somogy *et. al.*, (2006) quando se trabalha a nível de campo, as avaliações de biomassa usando métodos indirectos podem ser feitas de duas maneiras:

Utilização de dados de volume de árvores ou talhões que depois são multiplicados por um factor de ou factores apropriados denominados factores de biomassa (BF) que convertem ou expandem as estimativas de volume em estimativas de biomassa, conforme ilustra a equação abaixo.

$$B = P * BF \dots\dots\dots \text{Equação (1)}$$

Onde:

B = biomassa em Kg ou Ton

P = Variável da árvore ou talhão (exemplo m³)

BF = Factor de biomassa

Ou através de equações de regressão, que tem como finalidade estimar variáveis de difícil medição através de outras fáceis de medir que são directamente correlacionados com a variável de interesse. Em estimativas de biomassa, uma vez difícil a sua medição directa mede-se o DAP, área basal, altura ou o volume de árvores (Siteo e Tchaúque, 2007).

2.9.2.1. Teledeteccção (Imagens de satellite)

De acordo com Siteo e Tchaúque (2007) este método é usado para a determinação de biomassa viva (acima do solo) e é baseado no estudo de cobertura de florestas com recurso a imagens de satélite e fotografias aéreas. Estas técnicas, são bastante importantes principalmente em áreas com escassez de informação detalhada, como é o caso dos ecossistemas de miombo que cobrem maior parte de Moçambique (Ribeiro *et. al.*, 2012).

A grande vantagem deste método é que permite fazer inferências de biomassa a larga escala (Haripriya, 2000), mas para o seu funcionamento requer conhecimentos sobre interpretação de imagens de satélite em classes de cobertura florestal ou algumas características particulares das bandas espectrais das imagens e de funções que relacionam estas características com a biomassa (Siteo e Tchaúque, 2007). Roy e Ravan (1996) referem que com as técnicas de teledeteccção, a biomassa é estimada a partir de relações directas entre a resposta espectral das características da floresta e a biomassa usando análise de regressão, onde segundo Wulder *et. al.*, (2008) características tais como índice da área foliar (IAF), estrutura da floresta (densidade e altura), área basal estimadas a partir da teledeteccção são usadas como variáveis em equações de biomassa.

Haripriya (200) afirma que este método também requer dados da superfície de campo para calibração e verificação de seus dados porque estas técnicas não medem directamente a biomassa. Siteo e Tchaúque (2007), recomendam que a função que relaciona as características da floresta captadas pelos sensores com biomassa seja calibrada utilizando método directo com amostragem em parcelas ou funções alométricas.

Ribeiro *et. al.*, (2012) apontam o avanço da nova geração de sistemas de teledetecção de alta resolução espacial, tais como IKONOS, QUICKBIRD, LIDAR e ALOS/PALSAR como uma oportunidade para aprofundar as informações sobre a biomassa/carbono nos ecossistemas florestais, uma vez que estes sensores têm capacidade de avaliar a árvore individualmente.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização e limites da área do estudo

Com uma superfície de 5788Km² (MAE, 2005), o distrito de Gondola localiza-se na região do corredor da Beira a leste da província da província de Manica, na região centro do país entre a latitude 18°18'40" Norte e 19°38'18" Sul e entre a longitude 33°16' Este e 34°04' Oeste (Jamisse, 2008). Conforme a ilustração do mapa da figura 2, o distrito de Gondola é limitado a Norte pelo rio Pungué, pelos distritos de Bárue e Macossa, e ainda do distrito de Gorongosa a Nordeste. A Oeste é limitado pelo distrito de Manica, a Sul pelos distritos de Búzi (Sofala), Chibabava (Sofala) e pelo distrito de Sussundenga. E a este pelo distrito de Nhamatanda da província de Sofala.

Este estudo inclui também a área do distrito da cidade de Chimoio, que localiza-se no interior do distrito de Gondola, mais a este, nas proximidades do distrito de Manica.

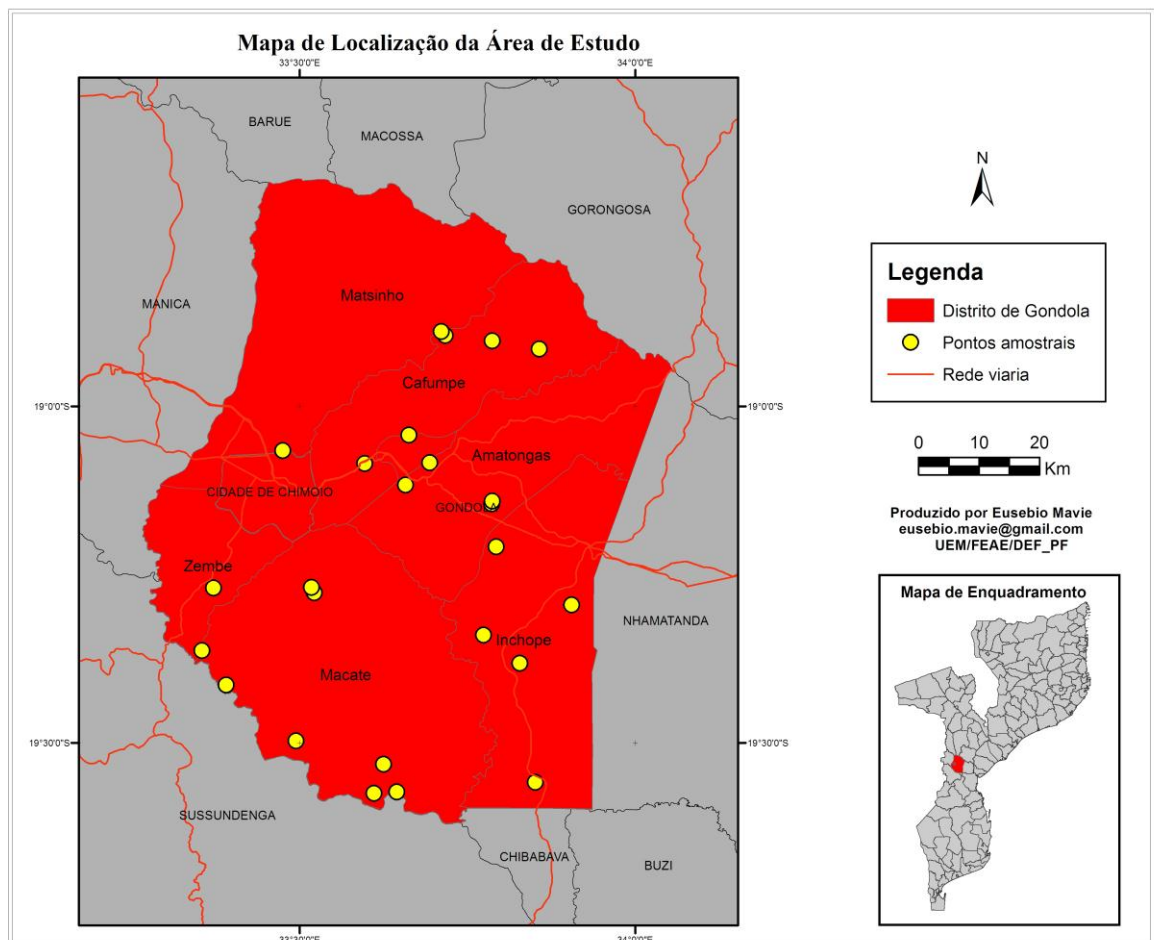


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo

3.2. Clima

O distrito de Gondola apresenta um clima tropical com duas estações bem distintas, sendo uma quente e húmida que vai de Abril a Outubro e a outra, fresca e seca que vai de Novembro a Março. As temperaturas máximas e mínimas anuais são de 26° e 16°c, respectivamente e com uma precipitação média anual de 1200 mm e 74% de humidade relativa (Jamisse, 2008).

3.3. Divisão administrativa

O distrito de Gondola está dividido em sete postos administrativos e estes por sua vez em um total de 17 localidades e um município, como indica a tabela 3 abaixo, o posto administrativo e as respectivas localidades.

Tabela 3. Divisão administrativa

Posto administrativo	Localidade
Gondola	Gondola / município
Inchope	Inchope sede, Doeroi, Muda serração
Amatongas	Amatongas sede, Nhamdonda, Pindanganga
Macate	Macate-sede, Chissassa, Maconha, Marera
Matsinho	Matsinho-sede, Chimera
Cafumpe	Cuzuana-sede, Benga, Chiungo
Zembe	Boavista, charonga

Fonte: MAE (2005)

3.4. Solos

A maior parte do distrito de Gondola é caracterizada por solos residuais, de textura variável, profundos a muito profundos e localmente pouco profundos. São solos acastanhos-avermelhados ligeiramente lixiviados, excessiva ou moderadamente bem drenados e por vezes mal drenados localmente. Ocorrem também ao longo das linhas de drenagem natural solos aluvionares e hidromórficos associados aos dambos (MAE, 2005).

3.5. Hidrografia

De acordo com MAE (2005) a hidrografia do distrito é dominada por pequenos rios, que fluem em direcção ao sul ao encontro do rio Revué, com excepção do rio Metuchira que desagua no rio Pungué. Pungué e Revué são os principais rios que atravessam o distrito, e é também atravessado por vários rios secundários, dentre outros destacam-se, os rios Mussangadze, Mudzingadzi, Thoa e Muda. A figura 3 abaixo indica a rede hidrográfica do distrito de Gondola.

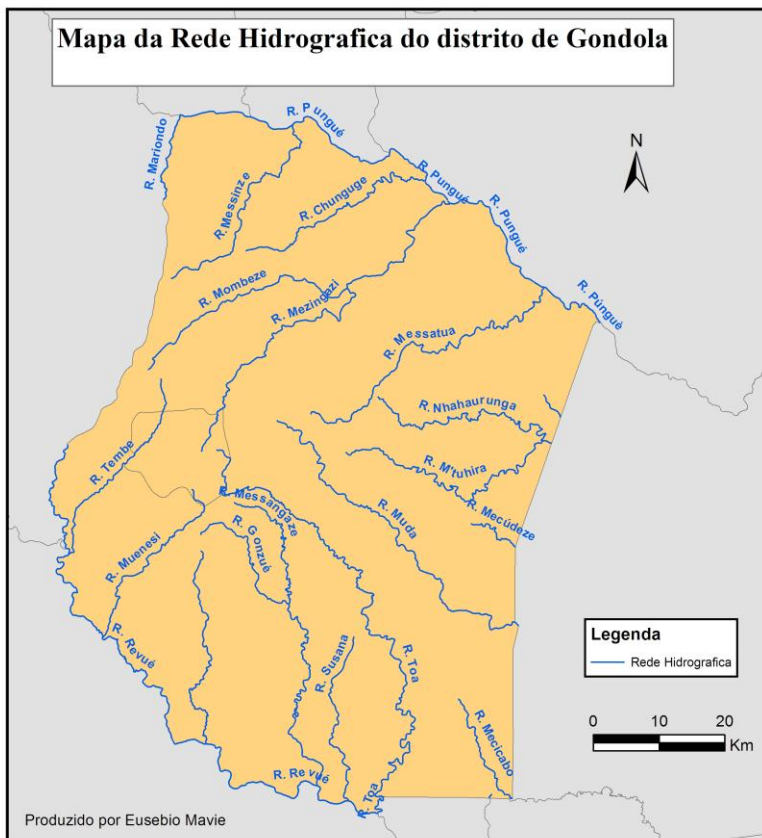


Figura 3. Mapa da rede hidrográfica do distrito de Gondola

3.6. Uso e cobertura de terra

Conforme a figura 4 abaixo, adaptada do projecto Avaliação Integrada das Florestas de Moçambique (AIFM), o distrito de Gondola tem como principais formações vegetais, as seguintes:

- ❖ Floresta densa decídua;
- ❖ Miombo denso;
- ❖ Miombo aberto;

- ❖ Floresta aberta sempre verde;
- ❖ Floresta de Galeria;
- ❖ Pradaria arbustiva aberta;
- ❖ Pradaria arbórea;
- ❖ Arbustos decíduos;
- ❖ Matagal decíduo;

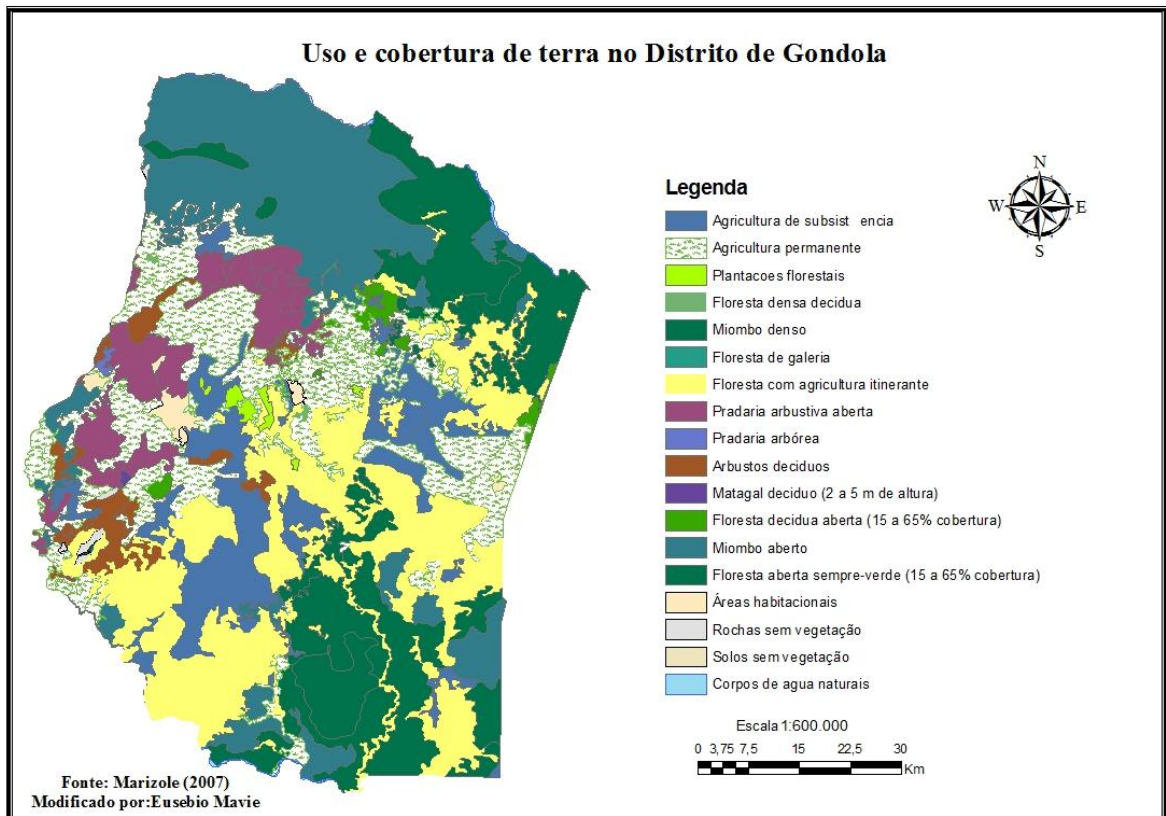


Figura 4. Mapa de uso e cobertura de terra do distrito de Gondola

3.7. População e actividades económicas

De acordo com III censo geral da população e habitação de 2007, o distrito de Gondola possui 258.548 habitantes dos quais 130.938 são mulheres e os restantes, homens formando 52.484 agregados. A densidade populacional é de cerca de 44,84 hab/Km² (INE, 2008)

De acordo com (Joaquim, 2008) cerca 90% da população dedica-se a agricultura e 10% está envolvido entre outras, em pequenas actividades informais, ou a trabalhar na empresa Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM), ou na Administração Distrital ou ainda na empresa Água Mineral de Marfoga, Pedreiras de Matsinho, Fábrica de

Farinha Infama. Ainda segundo o mesmo autor, cerca de 70% da produção agrícola do distrito provem do sector familiar e as principais culturas produzidas são milho, mapira, amendoim, feijão, hortícolas, tabaco e frutas e os restantes 30% são provenientes de produtores industriais tais como Abílio Antunes e a AGRICOM.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Processamento das imagens

Para o presente estudo utilizou-se duas imagens Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*), adquiridas gratuitamente através do *site* www.glovis.usgs. Uma vez que as imagens encontravam-se no formato *DAT*, uma imagem para cada uma das 7 bandas que compõem o sensor, fez-se a composição de bandas através do software ENVI 4.8, numa operação chamada “*composite bands*” para que todas as 7 bandas estivessem numa única imagem em formato *IMG* e depois, fez-se a combinação de bandas 4,3,2.

As imagens Landsat 5 TM que foram utilizadas na realização deste estudo correspondem a linha 168 e coluna 73 da cobertura Landsat. As imagens analisadas são de 1994 e 2008, adquiridas no dia 6 de Novembro de 2011 e 18 de Outubro de 2011, respectivamente. O sensor do satélite das imagens Landsat 5 TM tem uma resolução espacial de 30 X 30m, 16 dias de resolução temporal e produz imagens em 7 bandas.

4.2. Classificação das imagens de satélite: Fase I

Nesta fase fez-se a classificação não-supervisionada, através do ENVI 4.8, usando os algoritmos K-means e Isodata, tendo-se optado pela combinação de bandas espectrais 4,3,2. A escolha da combinação de bandas depende das feições que se deseja realçar e no caso do presente estudo pretende-se realçar o padrão e a distribuição da vegetação.

O algoritmo K-means calcula inicialmente as classes distribuindo-as uniformemente no espaço, e agrupando cada uma destas em um processo interactivo através da técnica distância mínima. O Isodata, identifica padrões típicos nos níveis de cinza. Esses padrões são classificados efectuando-se visitas de reconhecimento a alguns exemplos escolhidos para determinar sua interpretação. Dessa forma, as classes são

determinadas pelas análises de agrupamentos (cluster analysis) (Da Silva e Pereira, 2007).

Definiu-se 5 a 10 classes de cobertura com objectivo de identificar e agrupar as classes de cobertura com a mesma reflectância ou seja, actividade fotossintética. Depois da interpretação da classificação, calculou-se o Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (NDVI), com base na equação 2 de Rouse *et. al.*, (1973) abaixo, e confrontou-se com os diferentes estratos gerados, de modo a realçar os limites que separam as áreas de florestas com outras classes de cobertura. Jansen *et. al.*, (2006) refere que esses limites podem ser úteis na identificação de diferentes classes de cobertura, e que a combinação da classificação não-supervisionada com o NDVI discrimina com maior eficácia as áreas de florestas das demais, particularmente em zonas de florestas com agricultura.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \dots\dots\dots \text{Equação (2)}$$

Onde:

NDVI--- Índice Normalizado de Diferença de Vegetação

NIR----- Região do Infravermelho Próximo

RED----- Região do vermelho

De seguida procedeu-se à comparação e sobreposição da classificação não supervisionada das duas imagens para avaliar a dinâmica da vegetação nas duas épocas, assim como para localizar e identificar as áreas de mudança. De referir que para o presente estudo, interessava identificar nas imagens as áreas que perderam, ganharam e mantiveram a cobertura florestal ao longo do período entre 1994 e 2008.

Após a identificação destas áreas foram marcados 37 pontos amostrais no ArcGIS e registou-se as coordenadas que posteriormente foram introduzidas no GPS (*Global positioning system*) com a orientação UTM (*Universal Transversal Mercator*) para a localização dos pontos e estabelecimento de parcelas.

4.3. Amostragem

A escolha dos pontos amostrais baseou-se no que o IPCC (2006) denomina *subjective (or purposive) sampling*, um método que consiste na escolha intencional/por objectivo dos pontos de amostragem. Este autor acrescenta que os dados provenientes deste tipo de amostragem são frequentemente usados em estudos de inventários de gases de efeito de estufa, e os resultados podem ser extrapolados para as áreas não amostradas, das mesmas classes. Ainda segundo o autor supra citado, as limitações de recursos nos inventários de GEE, fazem com que a selecção das áreas de amostragem e das parcelas seja feita por objectivo, ou seja, são amostradas aquelas áreas que se pretende avaliar, e no caso do presente estudo, as áreas das mudanças da cobertura são as que mereceram destaque.

Com o método de amostragem acima descrito (*purposive sampling*) foram estabelecidos os 37 pontos amostrais. Porém, dada a semelhança das classes de cobertura entre alguns pontos, e dificuldade de acesso noutros, foram estabelecidos 25 pontos.

Após a localização do ponto amostral com o auxílio do GPS, estabeleceu-se parcela, medindo-se 50 metros com fita métrica na orientação Norte, e a partir da linha da fita mediu-se 10 metros para esquerda e 10 para direita.

4.3.1. Inventário dendrométrico

Em cada parcela, mediu-se com fita diamétrica todos os indivíduos (árvores e arbustos) com DAP (Diâmetro a Altura do Peito) igual ou superior a cinco centímetros. As medições foram feitas a uma altura de 1.3m a partir do nível do solo, considerado DAP. De acordo com Sanquetta *et. al.*, (2006) esta altura é adequada para medições de diâmetro, pois facilita o trabalho repetitivo, tornando-o mais ergonómico.

Em árvores com bifurcação acima do DAP, apenas registou-se uma medida a 1.3m, e no caso de árvores bifurcadas abaixo do DAP, foram registadas as duas medidas (Sanquetta *et. al.*, 2006; Williams *et. al.*, 2007). As árvores encontradas em aclives, as medições foram realizadas do lado de maior elevação (Sanquetta *et. al.*, 2006). Em fustes com irregularidade à altura do peito (DAP), o ponto de medição foi deslocado

abaixo ou acima, optando-se pela posição mais próxima de 1.3m (Sanquetta *et. al.*, 2006).

4.4. Classificação das imagens de satélite: Fase II

A segunda fase começou no campo, onde se validou os pontos amostrais, ou seja, confirmação ou rejeição da informação sobre os tipos de cobertura preparados no gabinete. Nesses pontos, fez-se também a descrição dos tipos de cobertura florestal e de uso de terra actuais. Nas áreas sem florestas procurou-se saber dos informantes locais, a quanto tempo as áreas estavam desflorestadas e em casos de áreas de agricultura também procurou-se saber da idade. Em todos pontos, fez-se a descrição da estrutura e composição das classes de cobertura que posteriormente foi usada na classificação supervisionada, feita em *Erdas imagine 9.1* através do método digital, usando o classificador *máxima verossimilhança*. Este classificador utiliza a média e co-variância das amostras calculando a probabilidade de um pixel desconhecido pertencer a uma ou outra classe (Da Silva e perreira, 2007).

Conforme Mertz (2009) citado por Ryan et al., (2011) a desflorestação à pequena escala, como é o caso da agricultura itinerante, exploração selectiva de madeira representa um exemplo de limitações nas estimativas de stocks de C, uma vez que estas áreas geralmente não são classificadas, ou correctamente representadas. A utilização do método digital neste estudo, justifica-se pela sua capacidade de discriminar e classificar desmatamento em áreas pequenas (Ryan et al., 2011), no caso do presente estudo 0.09 hectares.

Feita a classificação, seguiu-se a sua confirmação ou validação através da observação minuciosa das imagens SPOT de 2009, no *Google Earth*, e depois foram estabelecidas cinco classes de cobertura, nomeadamente Floresta densa (FD), Floresta aberta (FA), Outras formações lenhosas (OFL), Áreas de agricultura (AG) e Outras áreas (OA). A classe OA não foi amostrada para verificação de campo, mas dada a necessidade de estimar com maior precisão as áreas de cobertura florestal e as áreas agrícolas, foram agrupadas nesta classe (OA) todas as outras áreas, como por exemplo, áreas habitacionais, solo nu e rochas.

O estabelecimento destas cinco classes foi baseado no seu conteúdo (stock) aparente de biomassa/carbono florestal.

4.5. Análise e Processamento de Dados

4.5.1. Identificação das áreas de mudanças de cobertura florestal

Estas áreas foram identificadas através do método *post classification comparison* a partir da operação *Matrix* do *Erdas imagine 9.1* que consistiu na intercessão das imagens já classificadas, e resultou num único mapa indicando as áreas de mudanças de uma determinada classe de cobertura para outra e, incluindo aquelas que se mantiveram durante o período em análise. A escolha da operação *Matrix* para mostrar as áreas de mudanças, deveu-se ao facto de poder-se mostrar detalhes em relação ao fluxo das mudanças. Para facilitar as análises, agrupou-se as áreas que mudaram para a mesma classe.

4.5.2. Estimativa de áreas e os fluxos de mudanças florestais

As áreas das classes foram calculadas em ArcGIS para cada um dos mapas (1994 e 2008) multiplicando o número de pixels que cobre cada classe de cobertura por 0,09 ha correspondente à resolução espacial do sensor do Landsat 5 (30 X 30 m). No mapa de mudanças acima referido, extraiu-se a tabela de atributos contendo as informações das mudanças ocorridas de uma para a outra classe de cobertura, a partir das quais produziu-se em Excel a matriz das mudanças e a partir desta, determinou-se o fluxo das mudanças da cobertura.

Para a estimativa do fluxo de mudanças agrupou-se as mudanças em dois grupos; mudanças positivas (ganho de cobertura) ou seja aumento da densidade de carbono e mudanças negativas (perda de cobertura) diminuição da densidade de carbono. Para cada grupo, extraiu-se da matriz de mudanças as áreas correspondentes, conjugando-se aos pares de transição todas as classes de cobertura e depois determinou-se a participação relativa de cada transição, em cada grupo.

4.5.3. Determinação da Biomassa e do Stock de Carbono

A biomassa foi obtida através da equação 3 abaixo, calibrada especificamente para o distrito de Gondola num estudo de ajuste de funções alométricas conduzido por Tomo (em preparação), com a qual calculou-se a biomassa total de cada árvore medida.

$$B_{ij} = 0.056DAP^{2.599} \dots\dots\dots \text{Equação (3)}$$

Onde:

B_{ij} Biomassa em Kg, da árvore *i* da classe da cobertura florestal *j*

DAP.. Diâmetro a Altura do Peito

iÁrvore 1,2,3.....n da classe da cobertura florestal *j*

j..... Classe da cobertura florestal

Após a produção dos mapas de cobertura, agrupou-se os dados de DAP de acordo com o tipo de cobertura correspondente e determinou-se a biomassa em kilogramas (Kg) por classe de cobertura florestal (Equação 4, abaixo) que posteriormente foi convertido em toneladas.

$$B_{.j(kg)} = \sum_{i=1}^n B_{ij} \dots\dots\dots \text{Equação (4)}$$

Onde:

B_j Biomassa total da classe da cobertura florestal *j*

iÁrvore 1,2,3.....n da classe da cobertura florestal *j*

n Número de árvores

j..... Classe de cobertura florestal

Feito isto, sabendo-se que cerca de 50% da biomassa que compõe os organismos vegetais corresponde ao carbono, determinou se 50% da biomassa total por cada tipo de cobertura, como a seguir ilustra equação 5, obtendo-se deste modo o stock de carbono em toneladas (t) por tipo de cobertura.

$$C_{j(Ton)} = 0.5 * B_{.j} \dots\dots\dots \text{Equação (5)}$$

Onde:

$C_{j(Ton)}$.. Stock de carbono em toneladas na classe de cobertura j

B_j Biomassa total da classe de cobertura j

J Classe de cobertura

0.5 Coeficiente de conversão de biomassa em carbono

Após a conversão da biomassa por classe de cobertura em carbono, também por classe de cobertura calculou-se a média do stock de carbono por hectare, dividindo-se o stock de carbono total calculado em cada classe de cobertura florestal pelo total da área das parcelas em hectares, estabelecidas nessa classe calculando-se assim toneladas de carbono por hectare (tC/ha). A tabela 4 abaixo indica o total da área amostrada em cada classe de cobertura.

Tabela 4. Número de parcelas e total da área amostrada por classe da cobertura

Classes de cobertura	Nº de parcelas	Área total amostrada (ha)
Floresta densa	8	0.8
Floresta aberta	6	0.6
Outras formações lenhosas	3	0.3
Áreas de agricultura	8	0.8
Outras áreas	-	-
Total	25	-

4.5.4. Determinação do Balanço de Carbono

Uma vez calculado o stock de carbono por t/ha em cada classe da cobertura florestal, foi multiplicado pela área total correspondente a essa classe da cobertura em cada um dos 2 mapas (1994 e 2008) e determinou-se o total de carbono por classe de cobertura. Depois calculou-se o total de carbono das três classes de cobertura florestal, nos dois anos, para depois calcular balanço de carbono com base na equação 6 abaixo, de IPCC (2006), em que faz-se a diferença entre o stock de carbono entre o tempo 1 (1994) e o tempo 2 (2008) calculando-se assim as perdas anuais de carbono.

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \dots\dots\dots \text{Equação (6)}$$

Onde:

ΔC ... Variação anual de stock de carbono em t/ha/ano

C_{t_2} Stock de carbono no tempo 1 em t/ha

C_t Stock de carbono no tempo 2 em t/ha

t_1 Tempo 1 (1994)

t_2 Tempo 2 (2008)

4.5. Avaliação e Validação da Exactidão da Classificação

Este procedimento visa avaliar o grau de concordância dos resultados da classificação obtidos pela interpretação de imagens de satélite com os de referência (verdade de campo). Conforme Jansen *et. al.*, (2008) uma das formas mais usadas para avaliar a exactidão da classificação temática de cobertura de terra é a matriz de confusão também denominada matriz de erro ou tabela de contingência na qual, estão listados as classes resultantes da interpretação de imagens e as classes referentes à classificação de campo (verdade de campo), como ilustra a tabela 5 a seguir apresentada.

Tabela 5. Esquema da matriz de confusão ou de erros

Classificação de imagens	Verdade de campo					X_{i+}	E_o
	P_{11}					$\sum(P_{11...P_{15}}$	
		P_{22}				$\sum(P_{21...P_{25}}$	
			P_{33}			$\sum(P_{31...P_{35}}$	
				P_{44}		$\sum(P_{41...P_{45}}$	
					P_{55}	$\sum(P_{51...P_{55}}$	
X_{i+}	$\sum(P_{11...P_{15}}$	$\sum(P_{21...P_{25}}$	$\sum(P_{31...P_{35}}$	$\sum(P_{41...P_{45}}$	$\sum(P_{51...P_{55}}$		
E_{co}							
<i>Exactido global (P_o)</i>						Indice kappa (K)	

Fonte: Adaptado de Cumbane (2010) e de Espirito-Santo e Smimabukuro (2005)

	Classes obtidas pela classificação das imagens de satélite
	Verdade de campo
	Parcelas correctamente classificadas
	Somatório do X_{i+} ou de X_{+i} (Somatório da linha ou da coluna marginal)

A matriz acima gerou dados que foram usados para calcular os índices da validação da classificação. Neste estudo empregou-se a análise de qualidade de mapeamento proposto por Colgalton (1991) que considera os seguintes índices: o índice de exactidão global (P_o), índice Kappa (K), erros de comissão (E_{co}) e de omissão, calculados (E_o) a partir das equações a baixo indicadas:

❖ **Exactidão global (P_o)**

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^l X_{ij}}{N} \dots\dots\dots \text{Equação (7)}$$

Onde:

- P_o Índice de exactidão global
- X_{ij} ... Número de parcelas correctamente classificadas na linha i coluna j
- N Número total de parcelas contempladas na matriz
- l Número de categorias analisadas na matriz
- i Número da linha
- j Número da coluna

❖ **Índice Kappa (K)**

Valor estatístico que mede a perfeição da classificação e varia entre 0 a 1. Mede a eficácia da classificação em comparação com a classe de cada parcela. A figura 5 indica os intervalos da perfeição da classificação em função do índice K.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^l X_{ii} - \sum_{i=1}^l (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^l (X_{i+} * X_{+i})} \dots\dots\dots \text{Equação (8)}$$

Onde:

K..... Índice Kappa

I..... Número de categorias analisadas na matriz

X_{ii}.... Numero de parcelas correctamente classificados na linha i coluna i

X_{i+}.... Total marginal da linha i

X_{+i}.... Total marginal da coluna j

N..... Número total de parcelas contempladas na matriz

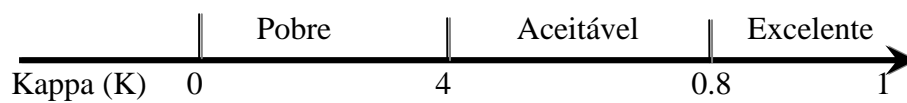


Figura 5. Intervalo de perfeição da classificação de imagens em função do índice kappa (K).

Fonte: Colgalton e Deer (1988)

❖ **Erro de comissão (E_{co}) e de omissão (E_o)**

$$E_{co} = \frac{X_{+i} - X_{ii}}{X_{+i}} \dots\dots\dots\text{Equação (9)}$$

$$E_o = \frac{X_{i+} - X_{ii}}{X_{+i}} \dots\dots\dots\text{Equação (10)}$$

Onde:

E_{co}..... Erro de comissão

E_o Erro de omissão

X_{i+}.... Total marginal da linha i

X_{+i}.... Total marginal da coluna j

X_{ij}.... Número de parcelas correctamente classificados na linha i, coluna j

X_{i+}.... Total marginal da coluna j

4.6. Esquema-resumo da metodologia empregue no estudo

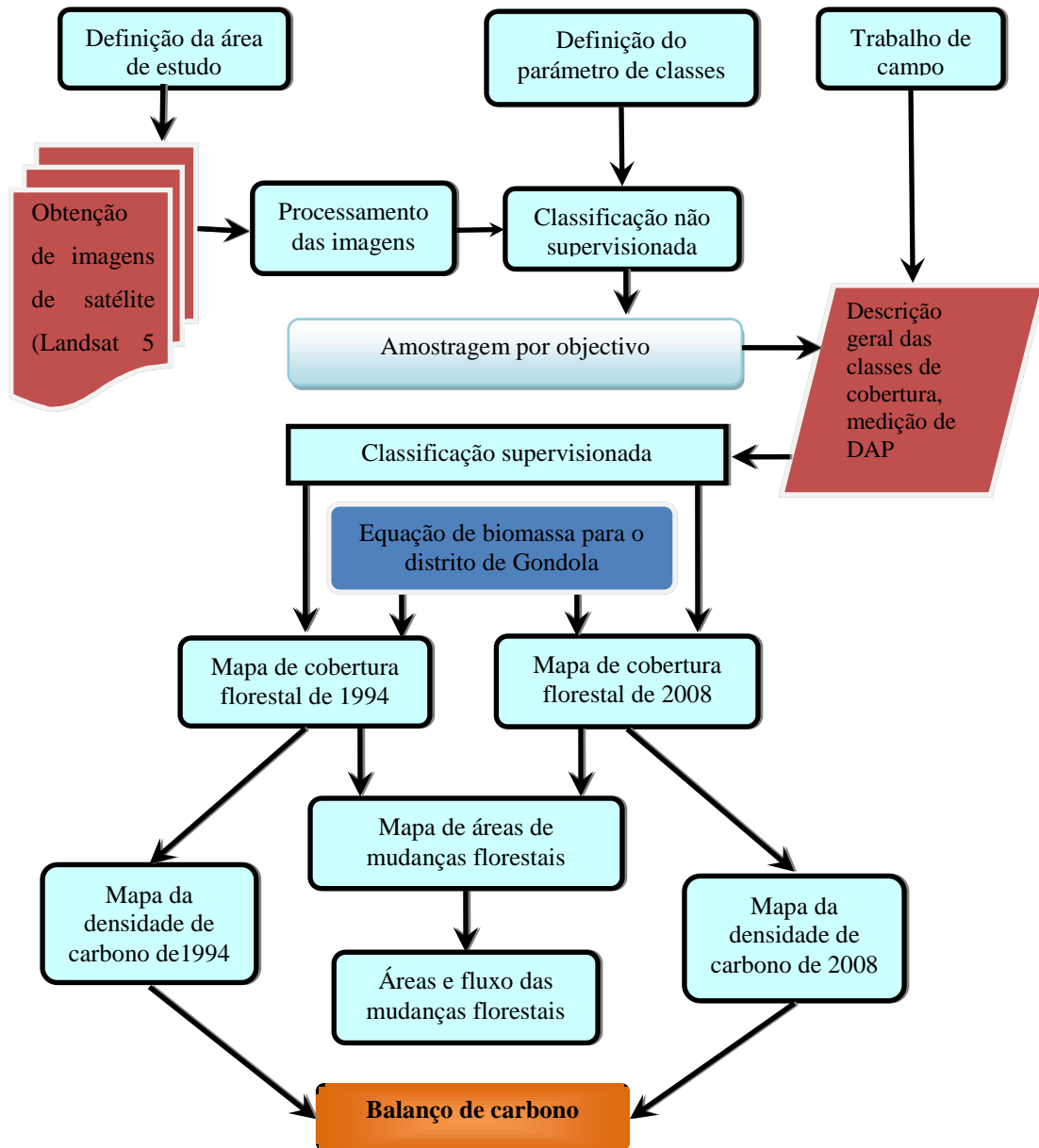


Figura 6. Esquema metodológico do estudo

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características gerais das classes de cobertura

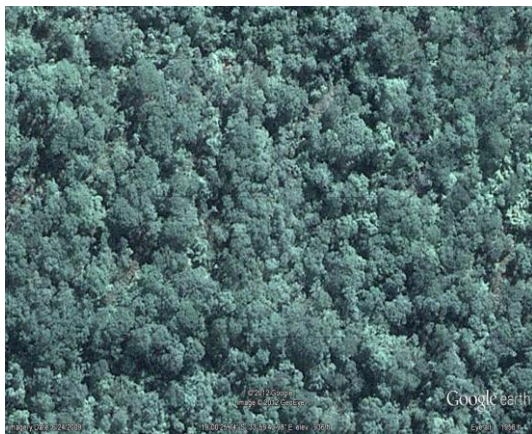
5.1.1. Floresta densa

Estas áreas são constituídas por árvores vigorosas, com cobertura de copas entre 60 a 75%. Notou-se na maior parte destas áreas a presença de 3 estratos, onde o estrato superior é composto por árvores com altura média que varia entre 10 a 17 metros.

O estrato médio apresenta árvores com altura entre 5 a 12 metros, e por fim o estrato inferior composto por gramíneas com cobertura abaixo de 40%. As espécies arbóreas predominantes são *Pterocarpus angolensis*, *Pterocarpus rotundifolius*., *Brachystegia spiciformis*, *Diplorhynchus condylocarpon*, *Combretum sp.* E as graminais são *Panicum sp.* *Philanthus sp.* Dentro desta classe observou-se indícios, ainda que poucos, de exploração de madeira, e de queimadas no passado. Algumas destas áreas são interrompidas abruptamente por áreas de agricultura, formando aquilo que Marzoli (2007) classificou como floresta com agricultura

Em três parcelas desta classe foram encontradas florestas secundárias (densas) com mais de 15 anos de idade, basicamente compostas por árvores, arbustos e trepadeiras espinhosas, cuja cobertura é superior a 90%. Nestas áreas notou-se indícios de prática de agricultura no passado (algumas plantas de *Musa sp.*, *Manihot esculenta*, e fruteiras). As espécies lenhosas que predominam estas áreas são *Trema orientalis*, *Albizia sp.*, *Tabernaemonta sp.*, *Lantana camara*, *Annona sp.*, *Diplorhynchus condylocarpon*.

a)



b)



Figura 7. Floresta densa. (a) Imagem de 2009 do Google Earth, (b) imagem do interior da classe floresta densa.

Foram verificadas na área de estudo algumas plantações florestais de *Eucalyptus sp.* que dado ao seu vigor em crescimento e a característica “sempre verde” com um dossel contínuo, e cobertura de copa de 80-100%, podem ter sido classificadas como florestas densas.

5.1.2. Floresta aberta

Esta classe é dominada por árvores com alturas que variam entre 5 a 15 metros, com cobertura de copas de cerca de 10-30%. Verificou-se a presença de indícios de queimadas no passado, cepos, troncos caídos, fornos de produção de carvão e áreas de agricultura. São espécies predominantes., *Brachystegia spiciformis*, *Diplorhynchus condylocarpon*, *Burkea sp.* Nesta classe, o estrato graminal apresenta uma cobertura de cerca de 50 a 70%. As espécies arbóreas predominantes são *Diplorhynchus condylocarpon*, *Pterocarpus rotundifolius*, etc. e o estrato herbáceo é dominado por *Digitaria eriantha*, *Vigna sp.* e *Panicum sp.*

Em áreas desta classe verificou-se também a regeneração natural entre outras, das espécies *Diplorhynchus condylocarpon*, *Dombeya sp.*, *Milettia sthulmannii*, *Brachystegia spp.*

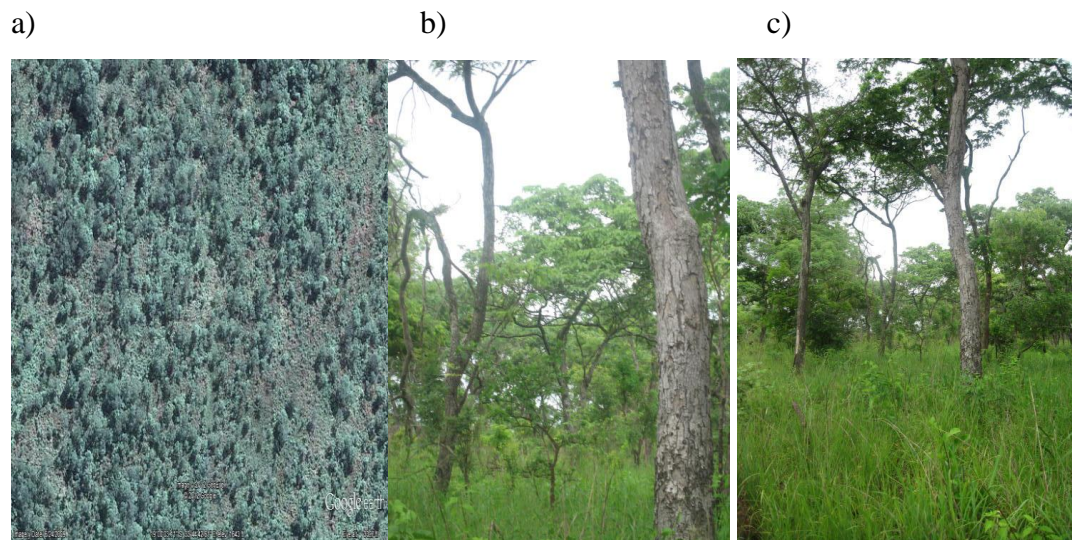


Figura 8. Áreas de floresta aberta. (a) Imagem do Google Eearth (2009), (b) e (c) imagem fotografica

5.1.3. Outras formações lenhosas

Estas áreas são predominantemente áreas de agricultura em pousio, em que as comunidades abrem machambas e depois de 4 ou 5 anos, abandonam-nas para recuperação (pousio) e abrem outras áreas. São maioritariamente constituídas por

arbustos e árvores de pequeno porte, com alturas que variam entre 3 a 5 metros e com cobertura de copas inferior a 10-50%. Estas áreas apresentam estrato graminal alto e bem desenvolvido com cerca de 80% de cobertura e alturas que variam entre 0.75 a 1.5 metros.

As espécies arbóreas mais predominantes são *Diplorhynchus condylocarpon*, *Albizia* sp, *Pterocarpus rotundifolius*, etc. e as espécies d herbáceas são *Digitaria eriantha*, *Vigna* sp. *Panicum* sp.

A maior parte destas áreas apresentam regeneração estabelecida ($DAP > 5\text{cm}$) das espécies mais predominantes tanto em florestas densas assim como em florestas abertas, sugerindo tratar-se do estágio inicial de florestas secundárias. Porém, apresentam também a regeneração de heliófitas (*Albizia* sp., *Taberneamontana* sp, entre outras).

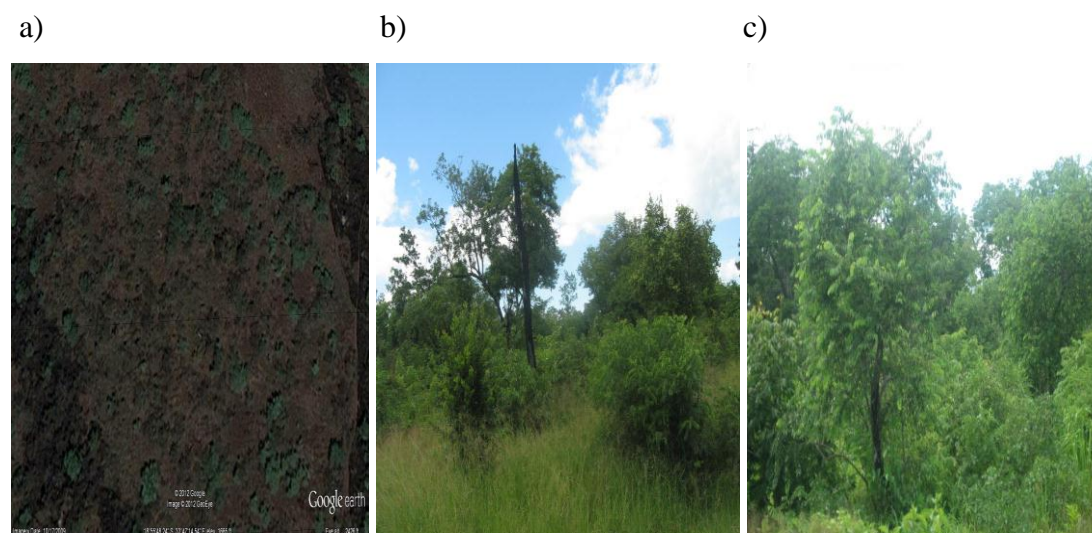


Figura 9. Áreas de outras formações lenhosas. (a) Reconstituição de áreas de agricultura em outras formações lenhosas após longo período de pousio. (b) estágio inicial de floresta secundária densa.

5.1.4. Áreas de agricultura

Constituído por campos agrícolas activos e áreas agrícolas não cultivadas, mas abandonadas recentemente (1-2) anos. Os activos apresentam culturas tais como milho (*Zea mays*), algodão (*Gossypium* sp.), feijão nhemba (*Vigna unguiculata*), e os não cultivados (em pousio), apresentam gramíneas e outras erbaceas tais como *Panicum* sp., *Vernonia andogensis*, *Commelina* sp., *Philanthus* sp., *Digitaria erianta*.

Nos campos recentemente abertos notou-se presença de árvores queimadas, mortas e algumas ainda em pé, outras ainda vivas e cepos com cerca de 1 metro de altura.

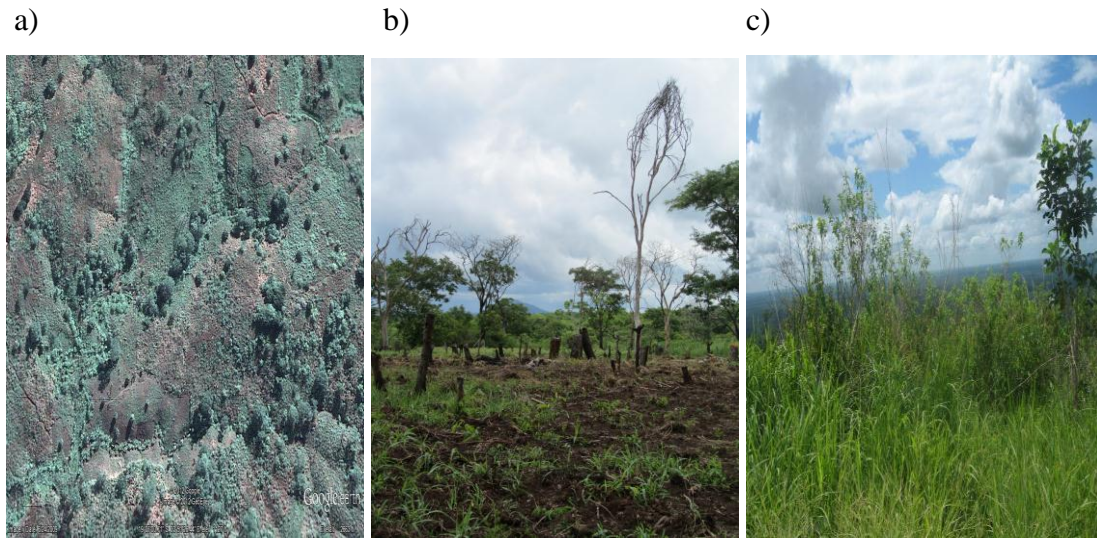


Figura 10. Áreas de agricultura. (a) Imagem do Google Earth (2009) (b) Campo agrícola activo recentemente aberto. (c) campo não cultivado (em pousio).

A transição de uma classe de cobertura florestal para a outra está intimamente ligada ao seu uso. De acordo com Siteo *et. al.*, (2012) a conversão de florestas para outras formações pode levar um processo longo de degradação. Assim, aqueles autores sugerem que uma floresta intacta pode numa primeira fase, ser utilizada para exploração de madeira, sendo que os madeireiros abrem picadas de acesso a áreas que eram de difícil acesso, para extrair madeira.

Dada a baixa densidade de ocorrência de espécies madeireiras maduras, este processo raras vezes produz alterações perceptíveis na cobertura florestal. Depois da retirada da madeira nobre, é comum que as picadas criadas pelos madeireiros sejam utilizadas pelos carvoeiros e lenhadores.

Estes abatem as árvores de espécies de pouco valor madeireiro, convertendo a floresta inicialmente densa em floresta aberta, geralmente degradada, provida de picadas que depois facilitam a entrada e devastação dessas áreas por agricultores, onde colocam suas culturas e geralmente fixam residências por perto. Após alguns anos de cultivo, as áreas tornam-se improdutivas e os agricultores abandonam-nas e abrem outras, assim sucessivamente deixando atrás, áreas de regeneração que eventualmente podem progredir desde áreas de herbáceas nativas, estabelecimento de espécies arbóreas

constituindo outras formações lenhosas até se reconstituir em florestas secundárias densas. Noutros casos, essas áreas não chegam a atingir o estágio de floresta como tal, intercalando a classe outras formações lenhosas com áreas de agricultura (Siteo *et al.*, 2012).

Segundo Lamprecht (1990), as árvores menores das florestas intactas que não conseguem atingir o estrato superior, dadas as suas dimensões reduzidas são geralmente do exíguo interesse para a produção de madeira. O que por um lado pode explicar a transição de florestas densas para outras formações lenhosas

5.2. Áreas de Mudança de Cobertura

O mapeamento realizado mostra que de 1994 a 2008, 354327.03 ha (59.65%) mudaram de cobertura, e os restantes 239731.65 ha (40.35%) mantiveram. A tabela 6 abaixo, mostra que das 5 classes consideradas, registaram-se alterações negativas das classes floresta densa (FD) e outras formações lenhosas (OFL), enquanto as restantes (Floresta aberta, Áreas de agricultura, Outras áreas) registaram aumento.

Tabela 6. Área ocupada por cada classe de cobertura em 1994 e 2008

Classes de cobertura	1994		2008		Variação
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	
Floresta densa (FD)	58031.73	9.77	42072.03	7.08	-15959.7
Floresta aberta (FA)	135112.5	22.7	143733.24	24.2	8620.74
Outras formações lenhosas (OFL)	216086.49	36.4	166233.33	28	-49853.16
Areas de agricultura (AG)	151276.32	25.5	196804.71	33.1	45528.39
Outras areas (OA)	33551.64	5.65	45215.37	7.61	11663.73
Total	594058.68	100	594058.68	100	0

A figura 11 abaixo indica os mapas da cobertura do distrito, em 1994 e assim como em 2008. E as mudanças ocorridas neste período estão representadas no mapa da figura 12.

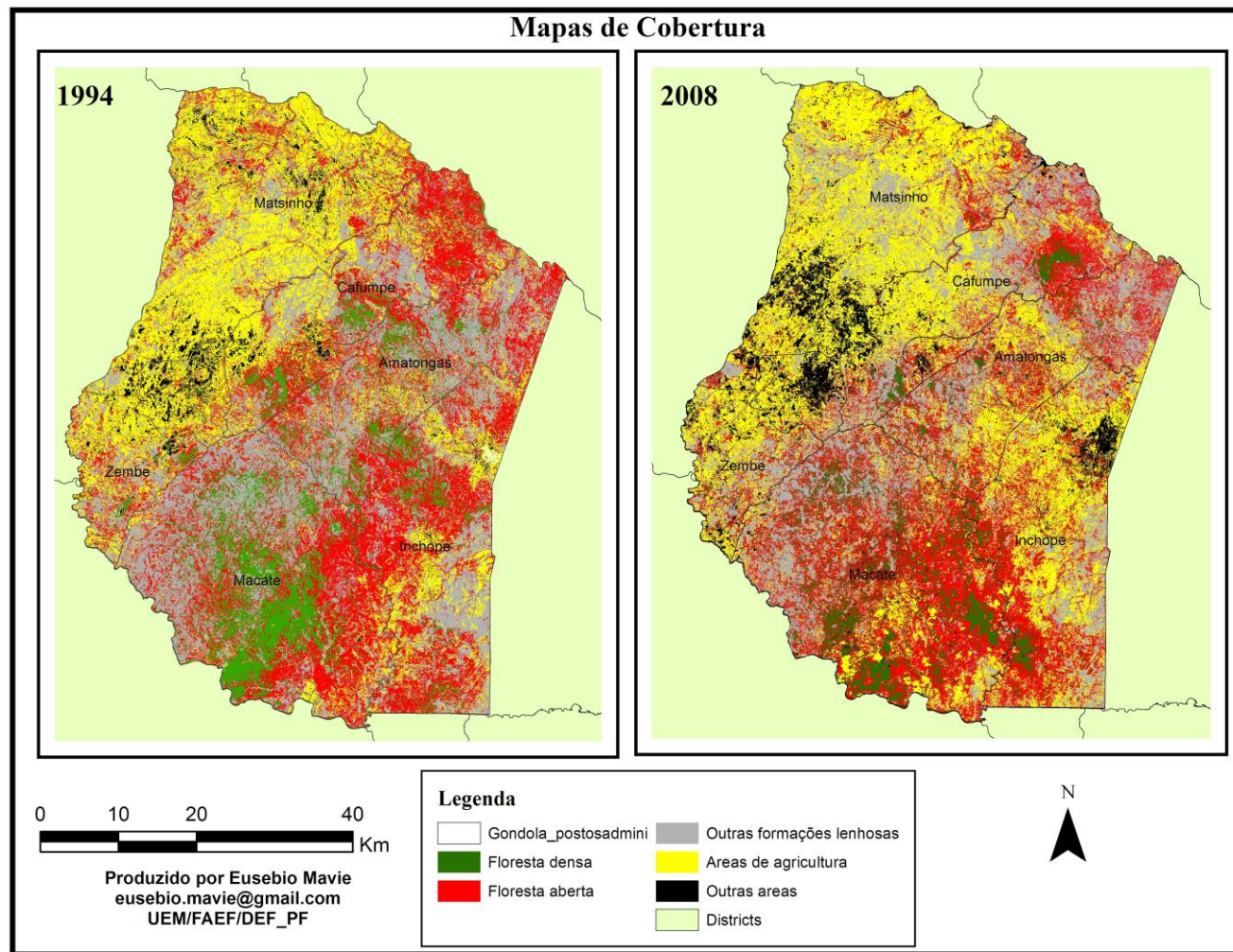


Figura 11. Mapas de cobertura de 1994 e 2008

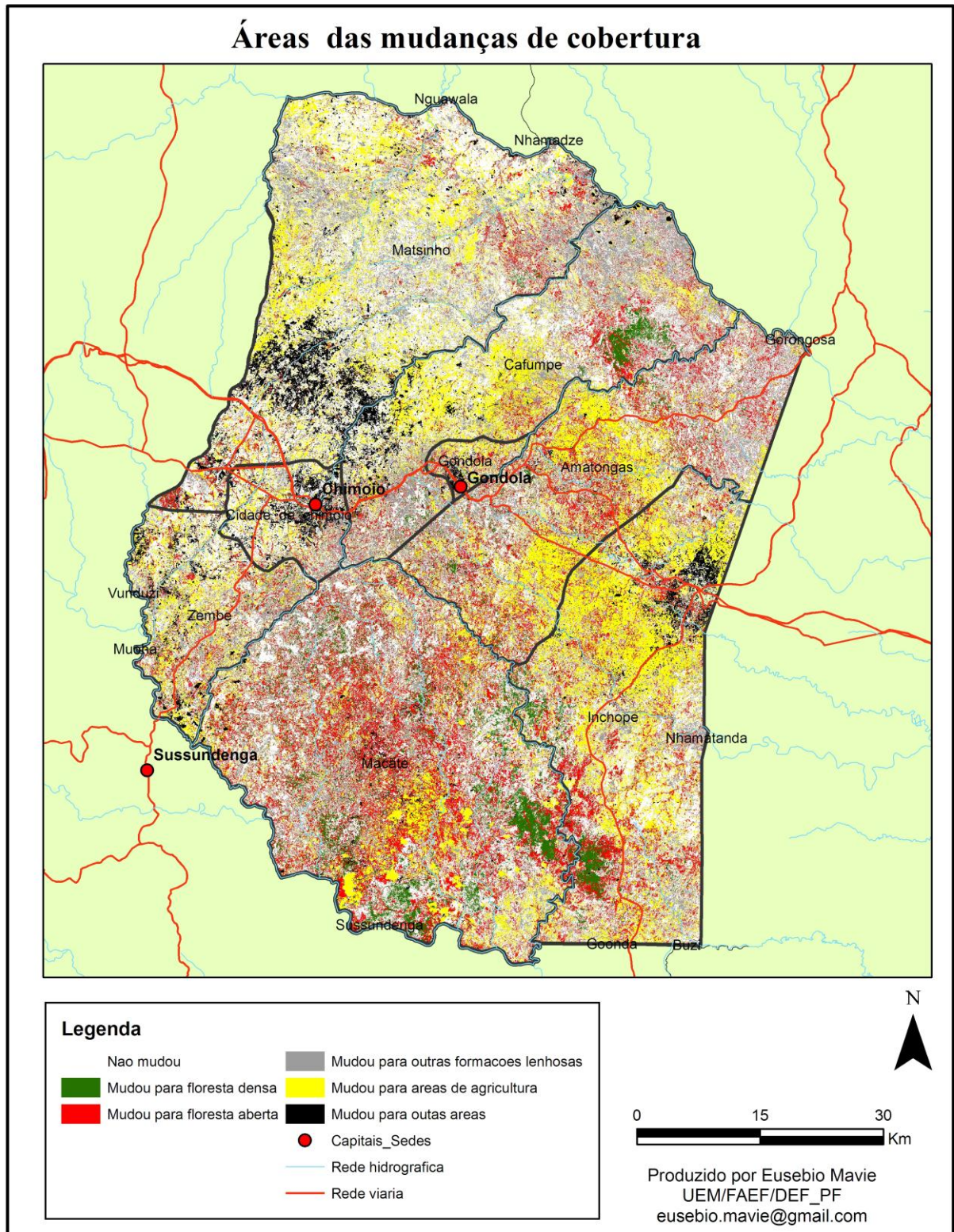


Figura 12. Mapa das áreas de mudanças de cobertura

5.2. Áreas e fluxos de Mudança de cobertura

5.2.1. Áreas

A tabela 6 mostra a área ocupada por cada classe de cobertura em 1994 e em 2008. Pode-se notar que em 1994, a classe de outras formações lenhosas (OFL) era a mais dominante com 216086.49ha (36.4%) da área total do distrito, situação que mudou em 2008 tendo perdido 49853.16 ha (23.07%), passando a classe áreas de agricultura a ser a mais dominante com 196804.7 ha (33.1%), decorrente do aumento de 45528.39 ha (30.1%). Pode-se notar ainda que a classe de floresta densa (FD) também decresceu, tendo perdido em 15959.7 ha (27.5 %). As restantes duas classes, tal como as áreas de agricultura, aumentaram de cobertura em 2008, destacando-se a classe de floresta aberta (FA) por ser a única classe arbórea com aumento de cobertura, cujo acréscimo foi de 8620.74 ha (6.38%) e não menos importante, a classe de outra cobertura (AO), que registou aumento de área em 11663.73 ha (34.76%) passando para 45215.37 ha. A tabela 7 que se segue indica ao pormenor, a dinâmica da cobertura entre 1994 e 2008.

Sitoe *et. al.*, (2012), afirmam que o desmatamento aumentou a partir de 1992. O aumento da cobertura por parte da classe de áreas de agricultura e de outras áreas e a consequente diminuição das classes florestais FD e OFL, pode estar relacionado com o constante aumento da densidade populacional e da pressão sobre os produtos florestais que se verifica desde o fim da guerra em 1992, em que as populações saíram das matas ou regressaram dos países vizinhos e estabeleceram-se em zonas acessíveis com potencial agrícola, como é o caso do distrito de Gondola. Argola (2004) refere que após a guerra em 1992, a população fixou-se no corredor da Beira por vários motivos, destacando-se a disponibilidade de árvores para a produção de carvão e da produtividade agrícola.

Tabela 7. Matriz de mudanças de cobertura

Classes de cobertura (1994)	Classes de cobertura (2008)										Total
	FD		FA		OFL		AG		OA		
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
FD	15383.61	36.56	19979.01	13.90	10308.42	6.20	9621.27	4.89	2739.42	6.06	58031.73
FA	13757.58	32.70	49929.03	34.74	30260.61	18.20	34883.46	17.72	6281.82	13.89	135112.5
OFL	10782.63	25.63	53578.26	37.28	86338.08	51.94	56599.47	28.76	8788.05	19.44	216086.49
AG	2045.88	4.86	18837.27	13.11	36584.46	22.01	77241.78	39.25	16566.93	36.64	151276.32
OA	102.33	0.24	1409.67	0.98	2741.76	1.65	18458.73	9.38	10839.15	23.97	33551.64
Total	42072.03	100	143733.2	100	166233.3	100	196804.7	100	45215.37	100	594058.68

5.2.2. Fluxo de mudanças de cobertura

Do total da área de mudanças, 196029.46 ha (33%) corresponde à mudanças negativas (perda de cobertura) e 158298.57 ha (26.65%) à mudanças positivas (ganho de cobertura). Pode-se verificar na tabela 8 que, entre as mudanças negativas, os maiores fluxos de ocorrem entre a mudança da classe outras formações lenhosas (OFL) para a classe áreas de agricultura (AG) com 28.87%, seguido da mudança da classe floresta aberta (FA) para a classe áreas de agricultura (AG) com 17.8%, floresta aberta para outras formações lenhosas com 15.44%, e floresta densa para floresta aberta com 10.19%.

Em relação as mudanças positivas, nota-se que a mudança da classe outras formações lenhosas (OFL) para floresta aberta (FA) é a mais predominante com 33.85 %, seguido da mudança da classe áreas de agricultura (AG) para outras formações lenhosas com 23.11%, áreas de agricultura para floresta aberta com 11.9 %, outras áreas para áreas de agricultura com 11.66%, floresta aberta para floresta densa com 8.9%. A tabela 8 abaixo, indica o fluxo das mudanças da cobertura.

Tabela 8. Fluxo das mudanças da cobertura entre 1994 e 2008

Mudanças negativas	Area (ha)	%	Mudanças positivas	Área	%
FD → FA	19979.01	10.19	FA → FD	13757.58	8.69
FD → OFL	10308.42	5.26	OFL → FD	10782.63	6.81
FD → AG	9621.27	4.91	AG → FD	2045.88	1.29
FD → OA	2739.42	1.40	OA → FD	102.33	0.06
FA → OFL	30260.61	15.44	OFL → FA	53578.26	33.85
FA → AG	34883.46	17.80	AG → FA	18837.27	11.90
FA → OA	6281.82	3.20	AG → OFL	36584.46	23.11
OFL → AG	56599.47	28.87	OA → FA	1409.67	0.89
OFL → OA	8788.05	4.48	OA → OFL	2741.76	1.73
AG → OA	16566.93	8.45	OA → AG	18458.73	11.66
Total	196028.46	100		158298.57	100

As mudanças entre as classes áreas de agricultura para outras formações lenhosas e vice-versa representam um ciclo que é determinado pelo esgotamento de nutrientes no

solo e o tempo de recuperação da mesma área, depois de um certo período de abandono (pousio), daí a razão para que tanto nas mudanças negativas assim como nas positivas este fluxo, registre valores altos. Outro aspecto determinante neste ciclo é a posse de terra, na medida em que as comunidades encontram poucas dificuldades para retornar as suas antigas machambas do que procurar novas zonas, que muitas vezes pode resultar em conflitos de terra. Os 33.85% da transição de OFL para FA são devido a reconstituição da primeira classe (OFL).

5.3. Biomassa e Stock de carbono

De acordo com a tabela 9 abaixo, o stock de biomassa (lenhosa acima do solo) é de 121.14 t/ha para a floresta densa, 108.09 t/ha para floresta aberta e 45.9 t/ha para outras formações lenhosas, que em termos de stock de carbono nas mesmas classes corresponde a 60.57, 54.04 e 22.95 tC/ha, respectivamente. A distribuição da biomassa e de carbono pelas classes de cobertura consideradas condiz com a de muitos investigadores em que, a biomassa e o stock de carbono aumentam com o aumento de densidade de cobertura.

Tabela 9. Biomassa e stock de carbono por classe de cobertura florestal

Classes de cobertura florestal	Biomassa		Carbono	
	Toneladas	t/ha	Toneladas	t/ha
Floresta densa	96.91	121.14	48.46	60.57
Floresta aberta	64.85	108.09	32.43	54.04
Outras formações lenhosas	13.77	45.90	6.88	22.95

5.4. Balanço de carbono

Em 1994 as florestas do distrito de Gôndola armazenavam na biomassa lenhosa acima do solo, um total de 15775490.12 tC, stock que veio a diminuir em 2008 fixando-se em 14130692.71 tC, o que representa uma perda de 1644797.4 tC. Esta variação deveu-se a perda de 966663.66 tC nas florestas densas e de 1144022tC nas outras formações lenhosas porém, houve algum sequestro de 465888.26 tC por florestas abertas. A tabela 8 abaixo mostra a contribuição, de cada formação florestal no total de carbono entre 1994 e 2004, assim como o carbono perdido e sequestrado.

Tabela 10. Variação do stock de carbono total por classe de cobertura florestal

Classes de cobertura florestal	Carbono (toneladas)			
	1994	2008	Perda	Sequestro
Floresta densa	3514926.01	2548262.34	966663.66	0
Floresta aberta	7301847.38	7767735.64	0.00	465888.26
Outras formações lenhosas	4958716.73	3814694.73	1144022.00	0
Total	15775490.12	14130692.71	2110685.66	465888.26

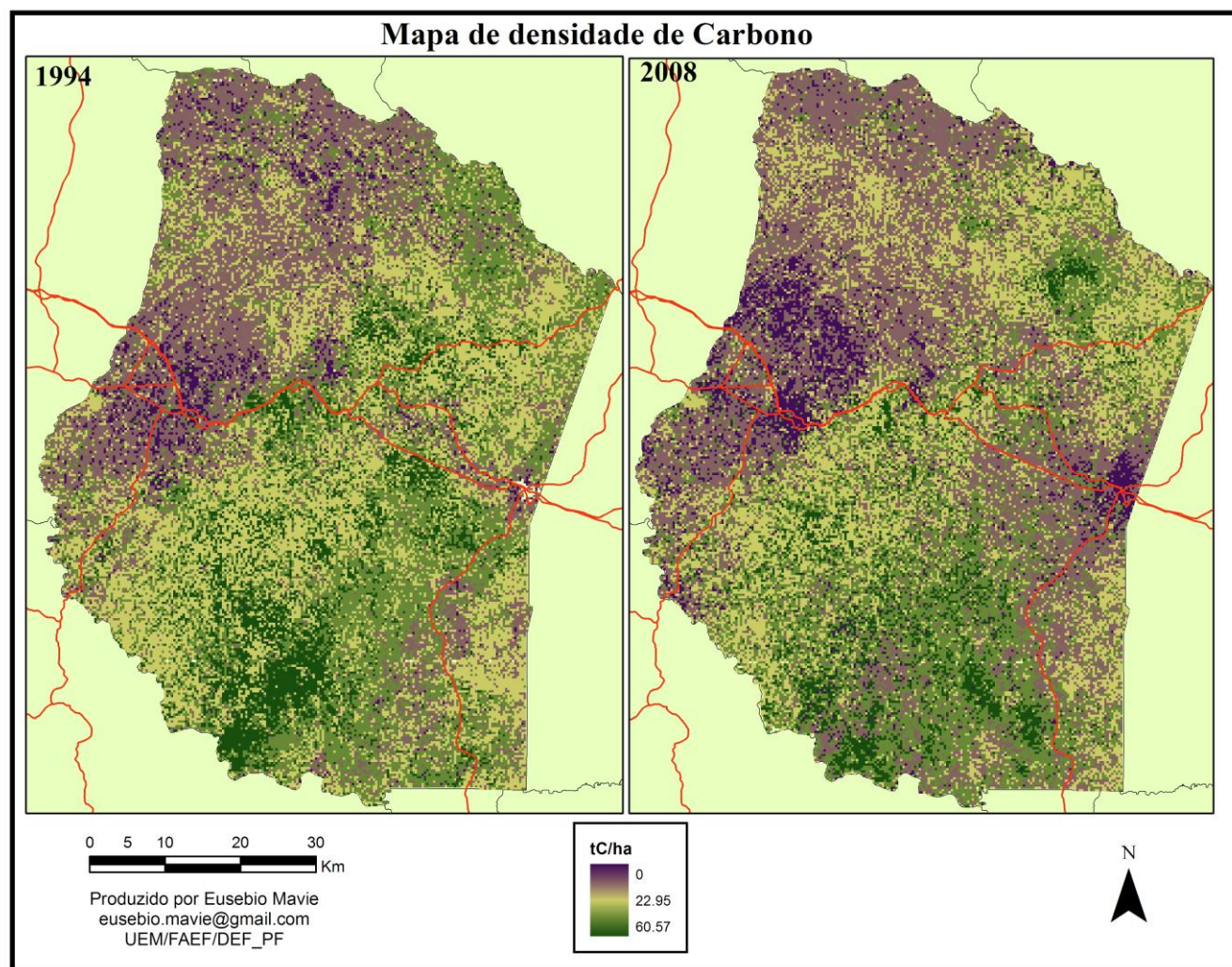


Figura 13. Mapas de densidade de carbono em 1994 e 2008

O carbono sequestrado anualmente pelas florestas abertas foi estimado em 33277.73 tC enquanto nas classes floresta densa e as outras formações lenhosas foram estimadas perdas de 69047.40 e 81715.86 tC/ano, respectivamente. No geral, destas perdas e ganhos o balanço que resulta é de perda de 117485.53 tC/ano. A tabela 11 mostra as perdas, sequestro e o balanço de carbono em tC/ano. As áreas de ocorrência destas perdas e ganhos estão representadas no mapa da figura 14.

Tabela 11. Balanço de carbono em t/ano

Classes de cobertura Florestal	Perda (tC/ano)	Sequestro (tC/ano)	Balanço (tC/ano)
Floresta densa	69047.40	0	69047.40
Floresta aberta	0	33277.73	33277.73
Outras formações lenhosas	81715.86	0	81715.86
Total	150763.26	33277.73	117485.53

A variação da densidade de carbono (perdas e ganhos) indicado no mapa da figura 11 a seguir, mostra o stock de carbono de 2008 em percentagem do stock de

1994.

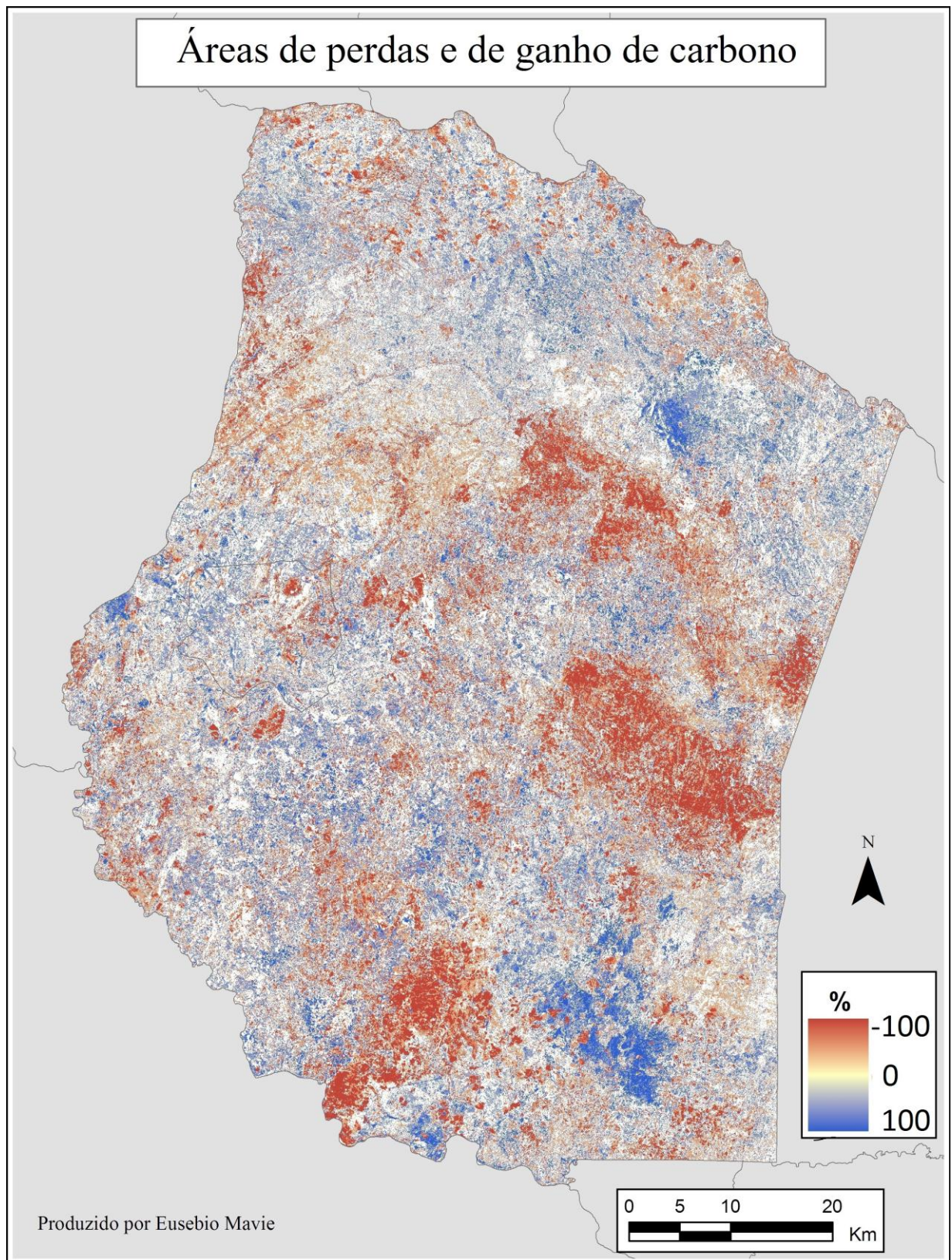



Figura 14. Áreas de perdas e de ganho de carbono entre 1994 e 2008. Áreas acima de 0 (azul) mostram ganho de carbono e abaixo de 0 (castanho) mostram perda em relação a 1994, as áreas clareadas não mudaram.

5.5. Avaliação da precisão e validação da classificação

A avaliação da precisão e o índice kappa (K) mostra que a classificação é aceitável. De acordo com o índice de exactidão global, a probabilidade de que as classes obtidas pela interpretação das imagens de satélite correspondam a verdade no campo é de 84% e a perfeição da classificação, medida pelo índice kappa (K), é de 78%. Conforme Colgalton e Green (1998) valores do índice K entre 40 e 80% revelam perfeição aceitável da classificação e excelente acima deste intervalo. A tabela 11 mostra em % os erros de comissão e omissão, e os índices de exactidão global e Kappa usados para a validação da classificação.

Tabela 11. Matriz de confusão ou de erros

Classificação de imagens	Verdade de campo (amostras de validação)					
	FD	FA	OFL	AG	Total	E _{co} (%)
FD	7	0	0	0	7	4
FA	1	5	0	0	6	4
OFL	0	1	3	2	6	8
AG	0	0	0	6	6	4
Total	8	6	3	8	25	
E _o (%)	0	4	0	8		
Exactidão global (P_o): 84%				Índice Kappa (K): 78%		

 Parcelas correctamente classificadas

A classe outras áreas (AO) foi excluída da matriz acima uma vez que não foi amostrada para levantamento ou verificação no campo, mas notou-se durante a classificação que não correspondia a nenhuma das 4 classes verificadas, daí a sua inclusão nos cálculos de áreas de cobertura.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

- Durante o período em análise (1994-2008), 354327.03 ha (59.65%) do total da área do distrito de Gondola, mudaram de cobertura e 239731.65 ha (40.35%) não mudaram. As áreas ao longo das vias de acesso e perto das cidades/vilas são as que registaram transição abrupta negativa da cobertura e as que passaram das classes de cobertura mais baixas para as mais altas encontram-se em zonas mais afastadas de habitações e das vias de acesso, porém notou-se algumas perdas da cobertura em zonas próximas de rios.
- Em 354327.03 ha das áreas das mudanças, 196029.46 ha (33%) são mudanças negativas, em que a transição das classes outras formações lenhosas (OFL) para áreas de agricultura (AG), floresta aberta (FA) para áreas de agricultura e floresta aberta para outras formações lenhosas, dominam o fluxo de perda de cobertura. Nas mudanças positivas, 158298.57 ha (26.65%), os maiores fluxos registaram-se nas mudanças das classes outras formações lenhosas para floresta aberta, áreas de agricultura para outras formações lenhosas e das áreas de agricultura para florestas abertas.
- O stock de biomassa foi estimado em 45,9 t/ha na classe outras formações lenhosas (OFL), 108.09 t/ha na classe floresta aberta (FA) e 121.14 t/ha na classe floresta densa (FD). Nestas mesmas classes de cobertura, OFL, FA e FD, estimou-se que elas armazenam na sua biomassa 22.95 tC/ha, 54.04 tC/ha e 60.57 tC/ha, respectivamente.
- O total de carbono em 1994, armazenado na biomassa das três classes de cobertura florestal (FD, FA, OFL) foi estimado em 15775490.12 tC e em 2008, nas mesmas classes de cobertura, estima-se que havia 14130692.71 tC. Perde-se durante este período cerca de 117485.53 tC/ano.

Verificou-se com este estudo, que entre 1994 e 2008, o balanço entre as perdas e os ganhos da cobertura florestal foi negativo, e indica que houve perdas de 37730.89 ha (2695.06 ha/ano) que são responsáveis pelas perdas de 164479.41 tC, que correspondem a perda de 117485.53 tC/ano.

6.2. Recomendações

Aos investigadores:

- Utilização de imagens aniversariantes e isentas de nuvens de forma a minimizar erros na classificação e estimar com precisão as áreas de cada classe de cobertura.
- A utilização nos próximos estudos de imagens de satélite de alta resolução tais como IKONOS, QUICKBIRD, LIDAR e ALOS/PALSAR de modo a estimar com maior eficiência o stock de biomassa e de carbono nos ecossistemas florestais.
- A elaboração de mais estudos deste género e sua divulgação a nível do país, abrangendo também as áreas florestais intactas ou pouco perturbadas de modo a determinar com maior precisão o seu potencial de sequestro e de perdas de carbono.
- O desenho e aplicação duma metodologia padronizada a nível nacional e não só, de forma a garantir a comparação dos resultados e para que a monitoria seja sistemática e consistente.

Às entidades governamentais:

- Desenvolvimento de fontes alternativas ao desmatamento de florestas para a obtenção de rendimento, tais como aquacultura, agricultura permanente, produção de mel, artesanato etc.
- Implementar e acompanhar tecnicamente a prática de sistemas agro-florestais nas comunidades;
- Levar mais a sério as iniciativas presidencial *uma comunidade, uma floresta e um aluno uma, uma árvore*.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARD, F., EVA, H., MAYAUX, P., STIBIG, D., Hans-Jürgen, and BELWARD, Alan (2004) *Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990s*. Global biogeochemical cycles, VOL. 18, GB2008, doi: 10.1029/2003GB002142

AGUIAR, A. P., OMETTO, J., NOBRE, C., CÂMARA, G., LONGO, K., ALVALÁ, R., ARAÚJO, R., (2009) *Estimativa das Emissões de CO₂ por Desmatamento na Amazônia Brasileira*. Centro de Ciências do Sistema Terrestre – CCST/INPE. Brasil

ARGOLA, J. (2004). *Causas de Mudança da Cobertura Florestal no Corredor da Beira*. Tese de Licenciatura. DEF/UEM. Maputo.

ASNER, G. P. (2009) *Measuring Carbon Emissions from Tropical Deforestation: An Overview*. Environmental Defense Fund

CIAIS, P., BOMBELLI, A., WILLIAMS, A., PIOA, S. L., CHAVE, J., RYAN, C. M., HENRY, M., BRENDER, P., VALENTINI, R., (2011) *The carbon balance of Africa: synthesis of recent research studies*. Phil. Trans. R. Soc. A (2011) 369,1-20

COLGATON, R. G (1991). *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data*: Remote Sensing of Environment.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K (1998). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. New York: Lewis Publishers.

CUMBANE, M. (2010) *Análise das Mudanças de Uso e Cobertura de Terra, estudo de caso: Distrito de Mabalane*. Tese de licenciatura. Maputo

Da Silva, M. L. M., e Pereira, G. P. M. (2007) *Avaliação de Algoritmos de Classificação Supervisionada para Imagens Cbrs-2da Região do Parque Estadual do Rio Doce*. Brasil

DENMAN, K.L., BRASSEUR, G., CHIDTHAISONG, A., CIAIS P., COX, P.M., DICKINSON, R.E., HAUGLUSTAINE, E., HEINZE, E., HOLLAND, D., JACOB, U., LOHMANN, S., RAMACHANDRAN, DIAS, P.L. da Silva., WOFSY, S. C. and ZHANG, X. (2007): *Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry*. The Physical Science Basis.

DIALLO, Y., HU, G., WEN, X (2009) *Application of Remote Sensing in Land Use/Land Cover Change Detection in Puer And Simao Counties, Yunnan Province*. Journal of American Science 2009;5(4):157-166. China

DEER, P. (1995) *Digital Change Detection Techniques in Remote Sensing*. Australia

FAO (2006). *Global forest resources assessment 2005: Progress towards sustainable forestry management*. FAO Forestry Paper 147. Rome: <http://www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.htm>

FERNANDES, T. J. G. (2003) *Contribuição dos certificados de emissões reduzidas (cers) na viabilidade económica da heveicultura _Viçosa*. Minas gerais – Brasil

GIBBS, H. K., BROWN, S., NILES, J. O., FOLEY, J. A., (2007) *Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REED a reality*. USA, Environ. Res. Lett. 2 (2007)045023 (13pp)

GIBBS, H. K., e HEROLD, M.(2007) *Tropical deforestation and greenhouse gas emissions*. Environ. Res. Lett. 2 (2007) 045021 (2pp)

HOUGHTON, J., FILHO, L. M., LIM, B., TREANTON, K., MAMATY, I., BONDUKI, Y., GRIGGS, B., CALLENDER, B., (1997) *Revised 1996 IPCC guidelines for National greenhouse gas inventories*. IPCC/OECD, Bracknell, UK

HOUGHTON, R. A. (1990). Carbon In: *Changes in land-use and land-cover*. A global perspective. University Press, Cambridge.

HARIPRIYA, G. S. (2000) *Estimates of biomass in Indian forests*. Biomass and bioenergy 19 (2000) 245-258

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007): *Synthesis Report*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. p 27. (Assessment Report, 4.)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2006) *Guidelines for National Inventory of Green House Gases*. Volume 4: Agriculture, Forestry and Othert Land Use (AFOLU)

INE (2008) *Estatística do distrito de Gondola*

JAMISSE, I. (2006) *Plantas Medicinais: Seu Uso e Estado de Conservação na vila de Gondola Provincia de Manica*. Tese de licenciatura Maputo

JOAQUIM, Z. M. D. (2008) *Impacto da Oferta de Serviços Microfinanceiros no Nível de Vidas das populações Rurais em Moçambique: O caso do distrito de Gondola*. Maputo

KIEL, R. (2008) *Detecção de Mudanças no Uso e na Cobertura do Solo em uma Serie Temporal de Imagens da Região da Campanha do Rio Grande do Sul*. Dissertação de mestrado. Porto Alegre.

KUNTORO, A., e WAHYU, A (2009) *The Effect of Deforestation on Regional Terrestrial Carbon Balance: A Case Study of Borneo Island*. Japan

LAITAT, E., KARJALAINEN, I., LOUSTAU, D., LINDNER, M (2000) *Contribution of forests and forestry to mitigate greenhouse effect*. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2000 **4** (4), 241–251. Joensuu (Finland)

LAMPRECHT, H. (1990). *Silvicultura nos trópicos*. GTZ. Eschborn. 343p.

MARZOLI, A. (2007) *Avaliação Integrada das Florestas de Moçambique - AIFM: Inventário Florestal Nacional*. Maputo

MICOA (2010) *Relatório do Inventário Nacional das Emissões dos Gases do Efeito de Estufa*. Maputo

OLIVIA, F. G. and MASSERA, O. R. (2004) *Assessment and measurement issues related to soil carbon sequestration in land-use, land-use change, and forestry (LULUCF) projects under the Kyoto protocol*. Academic Publishers Climatic Change **65**: 347-364, 2004

PACHECO, M. R.L.P. dos Santos., HELENE e MARCONDES, E. (2007) *Atmosphere, Carbon Flow and CO₂ Fertilization*. Instituto de Pesquisas Avançadas da Universidade de São Paulo. Brasil

PARKER, C., MITCHELL, A., TRIVEDI, M., MARDAS, N (2009) *O pequeno livro do REDD⁺, Um guia de propostas governamentais e não governamentais para a Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação*. Brasil

PETTA, R. A., FERNANDES, R. C. e NASCIMENTO, P. S. (2008) *Detecção Automática da Dinâmica da Cobertura da Terra por Sensoriamento Remoto*. Brasil

PRENTICE, I.C., FARQUHAR, G.D., FASHAM, M.J.R., GOULDEN, M.L., HEIMANN, M., JARAMILLO, V.J., H.S. KHESHGI, H.S., QUÉRÉ, C. Le., SCHOLLES, R.J., WALLACE, D.W.R. (2001) *The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide*

RIBEIRO, N., CUMBANA, M., MAMUGY, F. e TCHAUQUE, A (2012) *Remote Sensing of Biomass in the Miombo Woodlands of Southern Africa: Opportunities and Limitations for Research*. Eduardo Mondlane University. Maputo

RYAN, C. M., HILL, T., WOOLLEN, E., GHEE, C., MITCHARD, E., CASSELLS, G., GRACE, J., WOODHOUSE, I. H., e WILLIAMS, M. (2011) *Quantifying small-*

scale deforestation and forest degradation in African Woodlands using radar imagery. Global Change Biology (2011) doi: 110.1111/j.1365-2486.2011.02551.x

ROY, P. S., RAVAM, S. A. (1996) *Biomass Estimation Using Satellite remote Sensing Data- An Investigation on Possible Approaches for natural Forest*. *Journal of Bioscience* 1996, 21, 535-561

SABINE, C.L., FEELY, R. A., GRUBER, N., (2004). *The oceanic sink for anthropogenic CO₂*. *Science*, 305, 2004, 367-371.

SAKET, M. (1994) *Relatório Sobre a Atualização do Inventário florestal Exploratório Nacional*, Departamento de florestas, Unidade de Inventário florestal, FAO/UNDP, MOZ/92/013. Maputo

SANQUENTA (2006) W., DALLA, C., e FERNANDES. *Inventários Florestais: Planejamento e Execução*. Curitiba.

SILVA, T. P., PEREIRA, J. M. C., PAÚL, J.C. P., SANTOS, M. T. N., & VASCONCELOS, M. J. P. (2006) *Estimativa de Emissões Atmosféricas Originadas por Fogos Rurais em Portugal* *Silva Lusitana* 14 (2): 239 - 263, Lisboa. Portugal

SITOE, A., SALOMÃO, A. e WERTZ-KANOUNNIKOFF, S. (2012). *O contexto de REDD+ em Moçambique: causas, actores e instituições*. Publicação Ocasional 76pp. CIFOR, Bogor, Indonesia.

SITOE, A., TCHAÚQUE, F. (2007) *Medição da Biomassa lenhosa Utilizando informação do Inventário florestal*. Direcção Nacional de Terras e Florestas. Unidade de Inventário Florestal. Maputo

SOTTA, E. D. (1998) *Fluxo de CO₂ entre Solo e Atmosfera em Floresta tropical Húmida da Amazônia Central*. Manaus Brasil

SULZMAN, E. W. (2000) *The carbon Cycle*

TYNER, W. E., TAHERIPOUR, F., ZHUANG, Q., BIRUR, D., BALDOS, U. (2010) *Land Use Changes and Consequent CO₂ Emission due to US Corn Ethanol Production: A Comprehensive Analysis*. Purdue University. US

UNFCCC (2006) *Workshop on Reducing Emission from Deforestation in Developing Countries*. Working paper N°1 (a). Rome, Italy

WERTZ-KANOUNNIKOFF, S., SITOÉ, A., SALOMÃO, A. (2011) *Como o REDD+ está a emergir nas florestas secas da África Austral? Um instantâneo de Moçambique*

WIRTH, C., SCHUMACHER, J., SCHULZE E-D. (2004) *Generic biomass functions for Norway spruce in central Europe meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation*. *Tree phisiol.* 24: 121-139

WILLIAMS, M., RYAN, C.M., REES, R.M., (2008) *Carbon Sequestration and Biodiversity of Re-growing Miombo Woodlands in Mozambique*. *Forest Ecology and Management*, 254,145-155

WULDER, M. A., WHITE, J. C., FOURNIER, R. A., LUTHER, J. E., and MAGNUSSEN, S. (2008) *Spatially Explicit Large Areas Biomass estimation: Tree Aproach Using Forest Inventory and Remotly Sensed imagery in a GIS*. *Sensors* 2008, 8, 529-560, ISSN 1424-8220

ZUBAIR, A. O. (2006) *Change Detection Land Use and Land Cover using Remote Sensing Data and GIS*

8. ANEXOS

1. Actividades que provocam as mudanças da cobertura florestal no distrito de Gondola

A. Exploração de madeira



B. Produção de carvão



C. Prática da agricultura itinerante



2. Coordenadas dos pontos amostrais

ID	Latitude	Longitude	Classes de cobertura
1	-19.277	33.522	Floresta densa
2	-19.269	33.518	Floresta densa
3	-19.145	33.786	Outras Formações lenhosas
4	-19.085	33.597	Areas de agricultura
5	-19.497	33.495	Floresta densa
6	-19.141	33.787	Floresta densa
7	-19.363	33.355	Outras formações lenhosas
8	-19.414	33.391	Floresta densa
9	-19.117	33.658	Areas de agricultura
10	-19.270	33.372	Areas de agricultura
11	-19.043	33.663	Areas de agricultura
12	-19.084	33.694	Areas de agricultura
13	-19.340	33.774	Floresta aberta
14	-19.559	33.851	Floresta aberta
15	-19.209	33.793	Areas de agricultura
16	-18.915	33.857	Floresta densa
17	-18.903	33.787	Floresta aberta
18	-19.066	33.475	Areas de agricultura
19	-19.382	33.828	Floresta aberta
20	-19.295	33.905	Floresta aberta
21	-18.895	33.717	Outras Formações lenhosas
22	-18.889	33.711	Floresta aberta
23	-19.575	33.611	Floresta densa
24	-19.573	33.645	Areas de agricultura
25	-19.532	33.625	Floresta densa