



Número: 111/2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

ÉDSON LUIS BOLFE

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA A ESTIMATIVA DE
BIOMASSA E DE CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS
POR MEIO DE IMAGENS ORBITAIS**

Tese apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos
requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Co-orientador: Dr. Mateus Batistella

CAMPINAS - SÃO PAULO

Fevereiro – 2010

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

Bolfe, Édson Luis.
B637d Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais / Édson Luis Bolfe-- Campinas,SP.: [s.n.], 2010.

Orientador: Marcos César Ferreira, Mateus Batistella.
Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Sistema de informação geográfica. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Tomé-Açu (PA). I. Ferreira, Marcos César. II. Batistella, Mateus. III. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. IV. Título.

Título em inglês: Development of a methodology to the estimation of biomass and of carbon in agroforestry systems for middle of orbits image.

Keywords: - Geographycal information system;

- Sustainable development;

- Tomé-Açu (PA).

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Doutor em Ciências.

Banca examinadora: - Marcos César Ferreira;

- Jurandir Zullo Jr.;

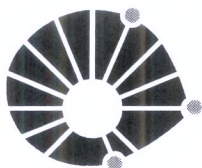
- Lindon Fonseca Matias;

- Regina Márcia Longo;

- Sidinei Raimundo

Data da defesa: 08/02/2010

Programa de Pós-graduação em Geografia.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTOR: Edson Luis Bolfe

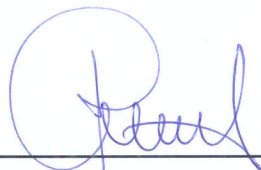
“Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais”

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Aprovada em: 8 / 02 / 2010

EXAMINADORES:

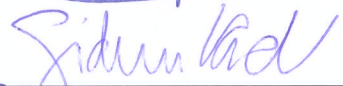
Prof. Dr. Marcos César Ferreira

 _____ - Presidente

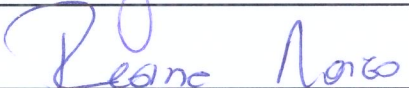
Prof. Dr. Lindon Fonseca Matias

 _____

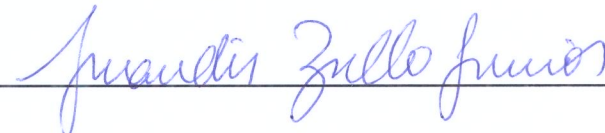
Prof. Dr. Sidnei Raimundo

 _____

Profa. Dra. Regina Márcia Longo

 _____

Prof. Dr. Jurandir Zullo Jr.

 _____

Campinas, 08 de fevereiro de 2010

Aos filhos Victória e Felipe... pelo sentido da existência.

A esposa Ana Paula... pelo amor compartilhado e dedicação recebida.

Aos pais Leonel e Jeni... pelo amor e exemplo de vida.

Dedico...

Agradecimentos

À Deus, pela vida.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), pela oportunidade de realização da presente Pós-Graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, pela acolhida e conhecimentos adquiridos.

Ao Professor Dr. Marcos César Ferreira, pela sabedoria compartilhada, amizade, estímulo e confiança durante a orientação deste trabalho.

Ao Professor Dr. Mateus Batistella (Embrapa Monitoramento por Satélite), pela troca de conhecimento, confiança, amizade e apoio durante a co-orientação deste trabalho.

Ao Professor, Dr. Lindon Fonseca Matias, pelas conversas e aprendizado proporcionado.

Ao Professor, Dr. Archimedes Perez Filho e Jurandir Zullo Jr., pelo apoio e idéias discutidas.

Aos Professores, membros da banca examinadora: Dr. Lindon Fonseca Matias, Dr. Sidnei Raimundo, Dr^a. Regina Márcia Longo e Dr. Jurandir Zullo Jr. pela participação, correções e sugestões.

Aos demais Professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia pelos conhecimentos construídos nessa caminhada.

Aos Pesquisadores Dr. Edson Diogo Tavares (Conselheiro Acadêmico) e Dr. Edmar Ramos de Siqueira (Embrapa Tabuleiros Costeiros), pela troca de idéias, confiança, apoio e amizade, fatores fundamentais para realização deste trabalho.

Aos Pesquisadores Dr. Alfredo Kingo Oyama Homma, Dr^a. Regina Celia Viana Martins da Silva, Dr^a. Nilza Araujo Pacheco e ao Técnico João Carlos Lima de Oliveira (Embrapa Amazônia Oriental), pela atenção, informações disponibilizadas e apoio nas atividades de campo.

Ao Sr. Francisco Sakaguchi (Presidente da Cooperativa Mista de Tomé-Açu), Sr. Jailson Akihiro Takamatsu (Eng. Agr.) e ao Sr. Michinori Konagano representando todos os produtores agroflorestais de Tomé-Açu, pela confiança depositada, atenção e disponibilidade durante as atividades de campo.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Geografia, em especial a **VALdirene** Pinotti, pela amizade construída e colaboração recebida.

Aos colegas do Instituto de Geociências, em especial aos amigos Luiz Eduardo **VICENTE**, **ANDRÉA** Koga Vicente, **PRISCILA** Brochado Gomes, Ana Isabel Pasztor Moretti, Gustavo **MANZON** Nunes, **GUSTAVO** Garcia Fontes Duarte, João **FASINA** Neto, **GRACIELI** Trentini, **ELIANA** Correa Aguirre de Matos e **JOseane** Carina Borges de Carvalho, pelos ensinamentos, momentos de descontração e amizade.

Aos amigos **LEONARDO**, **TATIANE**, **LUMA** e **HELOÍSA**, pela convivência, alegria e o sentimento de família.

Aos amigos **MINEIRO**, **REGINA** e **MALU**, pelas risadas nos momentos felizes, apoio nas necessidades e pelo “*Café Casa do Sítio*”, companheiro inseparável deste trabalho.

Aos amigos **MOACIR** e **NELMA**, pelas conversas, caminhadas, jantares e por fazerem a diferença.

Aos amigos **GOMIDE**, **ESTÉR**, **RENAN**, **BERNARDO**, **PATTO**, **ANA LEDO** e **CLARINHA**, pelos momentos alegres e incentivo, enquanto este trabalho era apenas um desejo.

A **D^a. ANA**, cunhados, cunhadas, sobrinhos e sobrinhas, pela amizade, presença e ajuda quando necessária.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado...

*Qualquer idéia que te agrade,
Por isso mesmo... é tua.
O autor nada mais fez que vestir a verdade
Que dentro em ti se achava inteiramente nua...*

Mario Quintana (1906-1994)

Das Idéias (1951)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xix
LISTA DE TABELAS.....	xxi
LISTA DE QUADROS.....	xxiii
LISTA DE ANEXOS.....	xxv
RESUMO.....	xxvii
ABSTRACT.....	xxix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Estrutura de Desenvolvimento.....	3
1.2. Motivação Pessoal e Profissional	4
1.3. Questões da Pesquisa.....	5
1.4. Hipótese	13
1.5. Objetivos.....	14
2. DINÂMICA DE USO E COBERTURA DAS TERRAS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	15
2.1. A Paisagem, Análise Espacial, Uso e Cobertura da Terra.....	15
2.2. Histórico do Uso e Cobertura das Terras na Amazônia Brasileira.....	25
2.2.1. Aspectos Gerais.....	25
2.2.2. Padrão Espacial de Uso e Cobertura da Terra	31
2.3. Mudanças Climáticas, Políticas Globais e os Sistemas Produtivos Sustentáveis.....	44
2.4. Sistemas Agroflorestais e o Acúmulo de Biomassa e Carbono.....	56
3. TOMÉ-AÇU E SUA INSERÇÃO HISTÓRICO-CULTURAL NA PAISAGEM AMAZÔNICA.....	63
3.1. Condicionantes Físico-geográficos.....	64
3.2. Aspectos Histórico-Culturais.....	68
3.3. Aspectos Sócio-Econômicos	79
4. ESTIMATIVA DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS POR MEIO DO SENSORIAMENTO REMOTO	81
4.1. Comportamento Espectral da Vegetação.....	81
4.1.1. Vegetação e a Radiação Eletromagnética	82
4.1.2. Refletância Espectral do Dossel da Vegetação	86
4.2. Índices de Vegetação e a Estimativa de Parâmetros Biofísicos	89
4.3. Aspectos Metodológicos.....	97

5. DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE ESTIMATIVA DE CARBONO.....	113
5.1. Cálculo da Biomassa/C nos Sistema Agroflorestais das Áreas Amostrais	113
5.1.1. Procedimentos utilizados para na amostragem in loco	113
5.1.2. Caracterização estrutural e florística dos sistemas agroflorestais	125
5.1.3. Estimativa da biomassa epígea e carbono por meio de equações alométricas	145
5.2. Cálculo das Variáveis Espectrais nos SAF da Área de Estudo	155
5.2.1. Cálculo dos Índices de Vegetação.....	155
5.3. Correlação das Variáveis Espectrais e a Biomassa/Carbono nos SAF da Área de Estudo ...	161
5.3.1. Regressão entre os dos Dados de Campo e as Variáveis Espectrais	161
5.3.2. Dados de Campo e as Variáveis Espectrais de 2005.....	162
5.3.3. Dados de Campo e as Variáveis Espectrais de 2008.....	174
5.3.4. Análise Conjunta dos Dados de Campo e as Variáveis Espectrais de 2005/2008 .	185
6. ESPACIALIZAÇÃO DO CARBONO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS GERADOS	189
6.1. Espacialização e Geração de Mapas de Carbono para a Região de Estudo	189
6.2. Avaliação dos Resultados e Validação dos Modelos Gerados para a Região de Estudo ...	200
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	203
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	207
9. ANEXOS	233

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Organograma de apresentação dos capítulos da Tese.</i>	3
<i>Figura 2.1. Matriz geográfica proposta por Berry.</i>	19
<i>Figura 2.2. Principais impactos em função da elevação da temperatura global média.</i>	46
<i>Figura 2.3. Participação dos Países no Protocolo de Kyoto em 2009.</i>	49
<i>Figura 2.4. Situação dos projetos de MDL no Brasil.</i>	55
<i>Figura 2.5. Modelo da evolução de um sistema agroflorestal sucessional biodiverso.</i>	57
<i>Figura 3.1. Localização da área de estudo, Região do Distrito de Quatro Bocas, Tomé-Açu (PA).</i>	63
<i>Figura 3.2. Representação da rede de drenagem e vias de acesso de Tomé-Açu, PA.</i>	65
<i>Figura 3.3. Precipitação média do estado do Pará, destacando Tomé-Açu.</i>	65
<i>Figura 3.4. Mapas de temperatura, insolação e umidade relativa média anual para o estado do Pará.</i>	66
<i>Figura 3.5. Totais mensais de precipitação pluvial em Tomé-Açu, PA de 2005 a 2008.</i>	67
<i>Figura 3.6. Navio Montevideu Maru (1929).</i>	70
<i>Figura 3.7.(a) Cooperativa de Hortaliças (1931) (b) Sociedade Agrícola e Industrial de Acará (1946) e (c) Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (1949).</i>	71
<i>Figura 3.8. Propriedade baseada em sistemas agroflorestais, Tomé-Açu, 2005.</i>	75
<i>Figura 3.9. Propriedade baseada na agricultura e pecuária, Tomé-Açu, 2005.</i>	75
<i>Figura 3.10. Propriedade baseada na agricultura de subsistência, Tomé-Açu, 2008.</i>	76
<i>Figura 3.11. Propriedade baseada na exploração vegetal, Tomé-Açu, 2008.</i>	76
<i>Figura 3.12. Propriedade baseada na produção de carvão vegetal, Tomé-Açu, 2008.</i>	77
<i>Figura 3.13. Núcleo urbano do Distrito de Quatro Bocas, Tomé-Açu, 2008.</i>	77
<i>Figura 3.14. Propriedades baseadas em SAF e sede do Distrito de Quatro Bocas, Tomé-Açu, 2005.</i>	78
<i>Figura 4.1. Valores médios das frações de radiação solar refletida, transmitida e absorvida após interação com uma folha individual.</i>	84
<i>Figura 4.2. Comportamento espectral de diferentes percentuais de coberturas vegetais e biomassa.</i>	88
<i>Figura 4.3. Organograma da metodologia utilizada.</i>	98
<i>Figura 4.4. Modelo de matriz proposta por Berry (1964) adaptada para esse trabalho.</i>	110
<i>Figura 5.1. Composição colorida (3/4/5 – B/G/R-TM Landsat 5) da região de estudo.</i>	114
<i>Figura 5.2. Lotes rurais dos agricultores associados à CAMTA (2005).</i>	115
<i>Figura 5.3. Rede hidrográfica da região de estudo (2005).</i>	116
<i>Figura 5.4. Rede viária da região de estudo (2005).</i>	117
<i>Figura 5.5. Composição colorida, unidades amostrais, lotes rurais, rede hidrográfica e viária (2009).</i>	118

<i>Figura 5.6. Organograma da estratégia amostral para os sistemas agroflorestais da área de estudo.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 5.7. Exemplificação do sistema amostral adotado na obtenção dos parâmetros biométricos.</i>	<i>120</i>
<i>Figura 5.8. Parâmetros observados nas diferentes classificações agroflorestais.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 5.9. Gravura esquemática das classes agroflorestais observadas para os SAF's em Tomé-Açu, PA (2008).</i>	<i>129</i>
<i>Figura 5.10. Exemplo de área classificada como SAF 1.</i>	<i>135</i>
<i>Figura 5.11. Exemplo de área classificada como SAF 1.</i>	<i>135</i>
<i>Figura 5.12. Exemplo de área classificada como SAF 2.</i>	<i>137</i>
<i>Figura 5.13. Exemplo de área classificada como SAF 2.</i>	<i>137</i>
<i>Figura 5.14. Exemplo de área classificada como SAF 3.</i>	<i>139</i>
<i>Figura 5.15. Exemplo de área classificada como SAF 3.</i>	<i>139</i>
<i>Figura 5.16. Exemplo de área classificada como SAF 4.</i>	<i>142</i>
<i>Figura 5.17. Exemplo de área classificada como SAF 4.</i>	<i>142</i>
<i>Figura 5.18. Frequência relativa média de três espécies encontradas em todos os SAF.</i>	<i>145</i>
<i>Figura 5.19. Densidade relativa média de três espécies encontradas em todos os SAF.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 5.20. Dominância relativa média de três espécies encontradas em todos os SAF.</i>	<i>146</i>
<i>Figura 5.21. Índice de valor de importância das três espécies encontradas em todos os SAF...147</i>	
<i>Figura 5.22. Estoque de carbono para as classes agroflorestais, Tomé-Açu, PA.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 5.23. Relação entre a complexidade (n. de sp.) e a EBE para os quatro SAF's, Tomé-Açu, PA.</i>	<i>150</i>
<i>Figura 5.24. Relação entre Abundância (N) e a Biomassa Epígea (EBE) nos SAF's estudados. .</i>	<i>152</i>
<i>Figura 5.25. Valores estimados de estoque de carbono (EC) para sistemas agroflorestais (SAF), florestas secundárias (FS), florestas de terra firme (FTF) e florestas de várzeas (FV) na Amazônia brasileira.</i>	<i>154</i>
<i>Figura 5.26. Pontos obtidos para cálculo da “linha do solo” (Imagem TM/Landsat - 09/08/2005).</i>	<i>156</i>
<i>Figura 5.27. Linha do solo (faixa do vermelho como variável independente) - Imagem TM 2005.....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 5.28. Linha do solo (faixa do infra-vermelho como variável independente) - Imagem TM 2005.</i>	<i>158</i>
<i>Figura 5.29. Pontos obtidos para cálculo da “linha do solo” (TM/Landsat - 13/07/2008).</i>	<i>159</i>
<i>Figura 5.30. Linha do solo (faixa do vermelho como variável independente) - Imagem TM 2008.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 5.31. Linha do solo (faixa do infra-vermelho como variável independente) - Imagem TM 2008.</i>	<i>160</i>
<i>Figura 5.32. Extração dos valores de atributos das imagens (Carbono e Índices de Vegetação).</i>	<i>161</i>
<i>Figura 5.33. Modelo de regressão utilizado para a correlação proposta.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 5.34. Representação do percentual de correlações significativas pelo teste “t” de Student por agrupamento de índice de vegetação baseados em dados de 2005.....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 5.35. Representação das correlações significativas pelo teste “t” de Student (2005). ...</i>	<i>167</i>

<i>Figura 5.36. Representação das correlações significativas pelo teste “t” de Student (2005) para as diferentes classes agroflorestais: a) SAF 1; b) SAF 2; c) SAF 3; e d) SAF 4.</i>	<i>168</i>
<i>Figura 5.37. Destaque de área classificada como SAF 1, imagem-síntese (NDVI) (a) e em campo (b).</i>	<i>169</i>
<i>Figura 5.38. Destaque de área classificada como SAF 2, em imagem-síntese (RVI) (a) e em campo(b).....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 5.39. Destaque de área classificada como SAF 3, em imagem-síntese (NDVI) (a) e em campo (b).....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 5.40. Destaque de área classificada como SAF 4, em imagem-síntese (TSAVII) (a) e em campo (b).....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 5.41. Representação do percentual de correlações significativas pelo teste “t” de Student por agrupamento de índice de vegetação (2008).</i>	<i>177</i>
<i>Figura 5.42. Representação de correlações significativas pelo “t” de Student (2008).</i>	<i>178</i>
<i>Figura 5.43. Representação das correlações significativas pelo “t” de Student (2008) para as diferentes classes agroflorestais: a) SAF 1; b) SAF 2; c) SAF 3; e d) SAF 4.....</i>	<i>179</i>
<i>Figura 5.44. Destaque de área classificada como SAF 1, em imagem-síntese (RS 5:3) (a) e em campo (b).....</i>	<i>180</i>
<i>Figura 5.45. Destaque de área classificada como SAF 2, em imagem-síntese (ND 5:7) (a) e em campo (b).....</i>	<i>181</i>
<i>Figura 5.46. Destaque de área classificada como SAF 3, a) em imagem-síntese (TSAVI 2) e b) em campo.....</i>	<i>182</i>
<i>Figura 5.47. Destaque de área classificada como SAF 4, em imagem-síntese (PVI 3) (a) e em campo (b).....</i>	<i>183</i>
<i>Figura 5.48. Níveis de correlações obtidas sistematizadas segundo a matriz geográfica proposta por Berry (1964).....</i>	<i>187</i>
<i>Figura 6.1. Espacialização da estimativa do estoque de carbono nas diferentes classes agroflorestais (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) a partir dos modelos gerados (2005).....</i>	<i>190</i>
<i>Figura 6.2. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 1 - 2005.....</i>	<i>191</i>
<i>Figura 6.3. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 1 - 2005.....</i>	<i>192</i>
<i>Figura 6.4. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 3 - 2005.....</i>	<i>193</i>
<i>Figura 6.5. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 4 - 2005.....</i>	<i>194</i>
<i>Figura 6.6. Espacialização da estimativa do estoque de carbono nas diferentes classes agroflorestais (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) a partir dos modelos gerados (2008).....</i>	<i>195</i>
<i>Figura 6.7. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 2 - 2008.....</i>	<i>196</i>
<i>Figura 6.8. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 2 - 2008.....</i>	<i>197</i>
<i>Figura 6.9. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 3 - 2008.....</i>	<i>198</i>
<i>Figura 6.10. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 4 - 2008.</i>	<i>199</i>
<i>Figura 6.11. Índices de acurácia para os mapas de carbono (2005) e (2008).</i>	<i>201</i>

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ARVI	<i>Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>
AVI	<i>Angular Vegetation Index</i>
BASA	<i>Banco da Amazônia S.A.</i>
BM&F	<i>Bolsa de Mercadorias e Futuros de São Paulo</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAMTA	<i>Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu</i>
CARDA	<i>Canadian Agricultural Rehabilitation and Development Administration</i>
CCX	<i>Chicago Climate Exchange</i>
CGIS	<i>Canadian Geographical Information System</i>
COP	<i>Conferência das Partes</i>
CTVI	<i>Corrected Transformed Vegetation Index</i>
DOS	<i>Dark Object Subtration</i>
DVI	<i>Difference Vegetation Index</i>
EMBRAPA	<i>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
FBDS	<i>Fundo Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável</i>
FBMC	<i>Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas</i>
FS	<i>Florestas Secundárias</i>
FTF	<i>Florestas de Terra Firme</i>
FV	<i>Florestas de Várzeas</i>
G	<i>Índice de Exatidão Global</i>
GEE	<i>Gases de Efeito Estufa</i>
GEMI	<i>Global Environment Monitoring Index</i>
GPS	<i>Sistema de Posicionamento Global por Satélite</i>
GVI	<i>Green Vegetation Index</i>
HFCs	<i>Hidrofluorcarbonos</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
ICRAF	<i>International Center for Research in Agroforestry</i>
IDH	<i>Índice de Desenvolvimento Humano</i>
IGBP	<i>International Geo-sphere and Biosphere Program</i>
IHDP	<i>International Human Dimension Program</i>
INCRA	<i>Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária</i>
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
JAMIC	<i>Corporação Japonesa de Imigração e Colonização Ltda</i>
JE	<i>Junta Executiva</i>
KIA	<i>Kappa Index of Agreement</i>
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
ICER	<i>Reduções Certificadas de Emissão de Longo Prazo</i>
LUC	<i>Land Use and Cover Change</i>
LULUCF	<i>Land Use, Land Use Change and Forestry</i>
MCT	<i>Ministério da Ciência e Tecnologia</i>
MDL	<i>Mecanismo de Desenvolvimento Limpo</i>

<i>MMA</i>	<i>Ministério do Meio Ambiente</i>
<i>MNDVI</i>	<i>Modified Normalized Vegetation Index</i>
<i>MSAVI 1, 2</i>	<i>Modified Soil Adjusted Vegetation Index 1, 2</i>
<i>ND</i>	<i>Índice de Diferença Normalizada</i>
<i>NDVI</i>	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
<i>NRVI</i>	<i>Normalized Ration Vegetation Index</i>
<i>OECD</i>	<i>Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico</i>
<i>ONU</i>	<i>Organização das Nações Unidas</i>
<i>OSAVI</i>	<i>Optimized Soil Adjusted Vegetation Index</i>
<i>PAS</i>	<i>Plano Amazônia Sustentável</i>
<i>PFCs</i>	<i>Perfluorcarbonos</i>
<i>PIB</i>	<i>Produto Interno Bruto</i>
<i>PIN</i>	<i>Projeto de Integração Nacional</i>
<i>PND</i>	<i>Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social</i>
<i>PPG7</i>	<i>Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais Brasileiras</i>
<i>PRODES</i>	<i>Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia</i>
<i>PVI 1, 2, 3</i>	<i>Perpendicular Vegetation Index, 1, 2, 3</i>
<i>RCEs</i>	<i>Reduções Certificadas de Emissão</i>
<i>RS</i>	<i>Índice de Razão Simples</i>
<i>RVI</i>	<i>Ratio Vegetation Index</i>
<i>SAF</i>	<i>Sistema Agroflorestal</i>
<i>SAF's</i>	<i>Sistemas Agroflorestais</i>
<i>SARVI 1</i>	<i>Soil Adjusted Ratio Vegetation Index</i>
<i>SARVI 2</i>	<i>Soil Adjusted Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>
<i>SAVI</i>	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
<i>SBI</i>	<i>Soil Brightness Index</i>
<i>SEPOF</i>	<i>Secretaria Executiva de Planejamento, Orçamento e Finanças do Estado do Pará</i>
<i>SIG</i>	<i>Sistemas de Informação Geográfica</i>
<i>SPVEA</i>	<i>Superintendência de Valorização Econômica da Amazônia</i>
<i>SUDAM</i>	<i>Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia</i>
<i>SYMAP</i>	<i>Synagraphic Mapping System</i>
<i>TAU</i>	<i>Índice de Exatidão TAU</i>
<i>tCER</i>	<i>Reduções Certificadas de Emissão Temporário</i>
<i>TM</i>	<i>Thematic Mapper</i>
<i>TSARVI</i>	<i>Transformed Soil Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>
<i>TSAVI 1, 2</i>	<i>Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 1, 2</i>
<i>TTVI</i>	<i>Thiam's Transformed Vegetation Index</i>
<i>TVI</i>	<i>Transformation Vegetation Index</i>
<i>TWVI</i>	<i>Two-Axis Adjusted Vegetation Index</i>
<i>UFA</i>	<i>Universidade Federal do Acre</i>
<i>UNFCCC</i>	<i>Framework Convention on Climatic Change</i>
<i>UTM</i>	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
<i>WDVI</i>	<i>Weighted Difference Vegetation Index</i>
<i>WINROCK</i>	<i>International Institute for Agricultural Development</i>
<i>ZICT</i>	<i>Zona de Convergência Intertropical</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

a, b, c	<i>Significativo pelo teste de “t” de Student em nível de 1, 5 e 10% de probabilidade de erro</i>
Ami	<i>Clima Mesotérmico Úmido segundo classificação de Köppen</i>
AP	<i>Área Total em ha da Parcela Amostral</i>
ASP	<i>Área Total em ha da Sub-Parcela Amostral</i>
BE	<i>Biomassa Seca Epígea em $M. ha^{-1}$</i>
C	<i>Carbono</i>
CH_4	<i>Metano</i>
cm	<i>Centímetros</i>
CO_2	<i>Dióxido de Carbono</i>
$\cos\theta$	<i>Ângulo Solar Zenital</i>
CV	<i>Coeficiente de Variação</i>
d	<i>Distância Sol-Terra em Unidades Astronômicas</i>
DAP	<i>Diâmetro à Altura do Peito</i>
Dor	<i>Dominância Relativa</i>
Dr	<i>Densidade Relativa</i>
EBE	<i>Estimativa de Biomassa Seca Epígea em $Mg.ha^{-1}$</i>
EC	<i>Estoque de Carbono</i>
Exp	<i>Logarítmo Natural</i>
Fa	<i>Frequencia Absoluta</i>
Fa_i	<i>Frequencia Absoluta da Espécie i</i>
f_i	<i>Número de Parcelas em que Ocorreu a Espécie i</i>
Fr	<i>Frequencia Relativa</i>
G	<i>Área Basal da Espécie i</i>
GL	<i>Graus de Liberdade</i>
$Gt CO_2$	<i>Giga Tonelada de Dióxido de Carbono</i>
H	<i>Altura Total</i>
H'	<i>Índice de Shannon-Weaver</i>
ha	<i>Hectare</i>
H'_{max}	<i>ln do Número de Espécie</i>
IAF	<i>Índice de Área Foliar</i>
IS_s	<i>Índice de Sørensen</i>
IVI	<i>Índice de Valor de Importância</i>
J'	<i>Índice de Equabilidade de Pielou</i>
K	<i>Número Total de Parcelas</i>
kg	<i>Quilograma</i>
L	<i>Fator de Ajuste do Solo</i>
$\ln$	<i>Logarítmo Neperiano</i>
m	<i>Metros</i>
m^2	<i>Metros Quadrados</i>

$Mg.ha^{-1}$	<i>Toneladas por Hectare</i>
mm	<i>Milímetros</i>
MS	<i>Média dos SAF</i>
N	<i>Abundância</i>
N_2O	<i>Óxido Nitroso</i>
Na	<i>Abundância Absoluta</i>
ND	<i>Número Digital</i>
n_i	<i>Número de Indivíduos da Espécie i</i>
O_3	<i>Ozônio</i>
p_i	<i>Frequencia de Cada Espécie</i>
$QCAL$	<i>Número Digital a ser Convertido</i>
$QCAL_{max}$	<i>Número Digital Máximo</i>
r	<i>Grau de Correlação</i>
r^2	<i>Coeficiente de Determinação</i>
REM	<i>Radiação Eletromagnética</i>
s	<i>Desvio Padrão</i>
S	<i>Número Total de Espécies Amostradas</i>
S'	<i>Índice de Diversidade de Simpson</i>
SF_6	<i>Hexafluoreto de Enxofre</i>
t	<i>Teste “t” de Student</i>
$t/ha/ano$	<i>Tonelada/Hectare/Ano</i>
u, t, m, s, n	<i>Número Total de Indivíduos</i>
ρ	<i>Refletância</i>
ρ_{IVD}	<i>Refletância na Faixa do Infravermelho Distante</i>
ρ_{IVM}	<i>Refletância na Faixa do Infravermelho Médio</i>
ρ_{IVP}	<i>Refletância na Faixa do Infravermelho Próximo</i>
ρ_V	<i>Refletância na Faixa do Vermelho</i>
ρ_a, FRB	<i>Refletância Bidimensional Aparente</i>
$E_{sun}(\lambda)$	<i>Irradiância Média do Sol no Topo da Atmosfera ($mW\ cm^{-2}\ sr^{-1}\ mm^{-1}$)</i>
$L_{max}\lambda$	<i>Radiância Espectral Máxima</i>
$L_{min}\lambda$	<i>Radiância Espectral Mínima</i>
$L_0(\lambda)$	<i>Radiância Bidirecional Aparente ($mW\ cm^{-2}\ sr^{-1}\ mm^{-1}$);</i>
$\%$	<i>Percentual</i>
(C)	<i>Estoque de Carbono em $MgC.ha^{-1}$</i>
(N)	<i>Número Total de Indivíduos Amostrados</i>
$\sum Fa$	<i>Somatória das Frequencias Absolutas de todas as Espécies Amostradas</i>
$\sum G_i$	<i>Soma da Área Transversal da Espécie i</i>
$\sum G_t$	<i>Somatória da Área Basal de todas as Espécies Amostradas</i>
$^{\circ}C$	<i>Graus Celsius</i>
μm	<i>Comprimento de Onda Eletromagnética</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 4.1. Principais reações fotoquímicas das plantas superiores.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabela 4.2. Relação dos índices de vegetação mais utilizados em estudos da cobertura vegetal. ..</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 4.3. “Metados” dos mapas-base utilizados na pesquisa.</i>	<i>106</i>
<i>Tabela 4.4. Abordagens através da Matriz Geográfica (Fonte: Adaptado Retis, 2007).</i>	<i>111</i>
<i>Tabela 5.1. Informações obtidas pelo inventário agroflorestal (parcelas amostrais de 1 a 10). </i>	<i>121</i>
<i>Tabela 5.2. Informações obtidas pelo inventário agroflorestal (parcelas amostrais de 11 a 20). </i>	<i>122</i>
<i>Tabela 5.3. Informações obtidas pelo inventário agroflorestal (parcelas amostrais de 21 a 30). </i>	<i>123</i>
<i>Tabela 5.4. Informações obtidas pelo inventário agroflorestal (parcelas amostrais de 31 a 40). </i>	<i>124</i>
<i>Tabela 5.5. Dados florísticos e estruturais dos quatro sistemas agroflorestais propostos para Tomé-Açu, PA.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabela 5.6. Parâmetros e representação esquemática das classes agroflorestais observadas... </i>	<i>128</i>
<i>Tabela 5.7. Ocorrência das diferentes famílias e espécies nos SAF de Tomé-Açu, PA.</i>	<i>131</i>
<i>Tabela 5.8. Parâmetros florísticos da classificação do SAF 1.</i>	<i>134</i>
<i>Tabela 5.9. Parâmetros florísticos da classificação do SAF 2.</i>	<i>136</i>
<i>Tabela 5.10. Parâmetros florísticos da classificação do SAF 3.</i>	<i>138</i>
<i>Tabela 5.11. Parâmetros florísticos da classificação do SAF 4.</i>	<i>140</i>
<i>Tabela 5.12. Índices de diversidade e equabilidade dos quatro sistemas agroflorestais propostos para Tomé-Açu, PA.</i>	<i>143</i>
<i>Tabela 5.13. Matriz de similaridade florística entre os 4 SAF (Índice de Sørensen, IS_s).....</i>	<i>144</i>
<i>Tabela 5.14. Parâmetros florísticos e estruturais das três principais espécies encontradas em todos os SAF.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabela 5.15. Equações alométricas utilizadas para estimar a biomassa epígea seca.</i>	<i>147</i>
<i>Tabela 5.16. Dados estimados para quatro sistemas agroflorestais propostos para Tomé-Açu, PA..</i>	<i>149</i>
<i>Tabela 5.17. Comparativo de médias de biomassa epígea (EBE) e estoque de carbono (EC) dos SAF’s estudados com outros SAF’s na região amazônica.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabela 5.18. Comparativo de médias de biomassa epígea (EBE) e estoque de carbono (EC) dos SAF’s estudados com outras tipologias florestais na Amazônia brasileira.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabela 5.19. Índices de vegetação utilizados na obtenção das variáveis espectrais dos SAF estudados.</i>	<i>155</i>
<i>Tabela 5.20. Valores obtidos pela linha do solo para a área de estudo, imagem TM 2005.</i>	<i>158</i>
<i>Tabela 5.21. Valores obtidos pela linha do solo para a área de estudo, imagem TM 2008.</i>	<i>160</i>
<i>Tabela 5.22. Estatísticas das análises de regressão entre classes de SAF’s e índices de vegetação para 2005.</i>	<i>164</i>
<i>Tabela 5.23. Correlações significativas pelo “t” de Student por agrupamento de índice de vegetação (2005).</i>	<i>165</i>

<i>Tabela 5.24. Correlações significativas pelo teste “t” de Student por classe de SAF (2005). ...</i>	<i>166</i>
<i>Tabela 5.25. Modelos de “melhor” ajuste indicados para estimativa de carbono de SAF’s em Tomé-Açu, PA (Imagem Landsat TM/2005).....</i>	<i>174</i>
<i>Tabela 5.26. Estatísticas das análises de regressão entre classes de SAF’s e índices de vegetação para 2008.</i>	<i>175</i>
<i>Tabela 5.27. Correlações significativas pelo teste “t” de Student por agrupamento de índice de vegetação (2008).</i>	<i>176</i>
<i>Tabela 5.28. Correlações significativas pelo teste “t” de Student por classe de SAF (2008). ...</i>	<i>177</i>
<i>Tabela 5.29. Modelos de “melhor” ajuste indicados para estimativa de carbono de SAF’s em Tomé-Açu, PA (Imagem Landsat TM/2008).....</i>	<i>185</i>
<i>Tabela 5.30. Análises propostos na Matriz Geográfica, adaptada de Berry (1964), Retis (2007)...</i>	<i>186</i>
<i>Tabela 6.1. Modelos indicados para estimativa de carbono de SAF’s em Tomé-Açu, PA (Imagem Landsat TM/2005-2008).....</i>	<i>189</i>
<i>Tabela 6.2. Matriz de erros dos modelos de estimativa de carbono para as classes agroflorestais (2005).</i>	<i>200</i>
<i>Tabela 6.3. Matriz de erros dos modelos de estimativa de carbono para as classes agroflorestais (2008).</i>	<i>200</i>
<i>Tabela 6.4. Índices de acurácia para os mapas de carbono (2005) e (2008).</i>	<i>201</i>

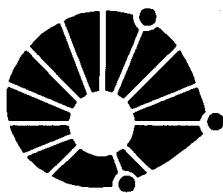
LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 2.1. Regiões da Amazônia diferenciadas em função do espaço-tempo.</i>	<i>33</i>
<i>Quadro 2.2. Sistemas agropecuários vigentes na Amazônia e suas principais características. ...</i>	<i>41</i>
<i>Quadro 3.1. Fases e características da dinâmica dos sistemas agroflorestais da região de Tomé-Açu, PA. ..</i>	<i>73</i>

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Biomassa epígea e carbono nas parcelas amostrais dos SAF's, Tomé-Açu, PA.....</i>	<i>a</i>
<i>Anexo 2. Transformações radiométricas (IV-Razão Simples: RVI, RV 3:4, RV 5:3 e RV 5:4) 2005.</i>	<i>e</i>
<i>Anexo 3. Transformações radiométricas (IV-Normalizados: NDVI, ND 5:3, ND 5:4 e ND 5:7) 2005. ...f</i>	<i>f</i>
<i>Anexo 4. Transformações radiométricas (IV-Normalizados: TTVI, TVI, CTVI e NRVI) 2005. g</i>	<i>g</i>
<i>Anexo 5. Transformações radiométricas (IV-Complexos: PVI, PVI 1, PVI 2 e PVI 3) 2005.....h</i>	<i>h</i>
<i>Anexo 6. Transformações radiométricas (IV-Complexos: SAVI a, SAVI b, SAVI c e MSAVI 2) 2005.....i</i>	<i>i</i>
<i>Anexo 7. Transformações radiométricas (IV-Complexos: TSAVI 1, TSAVI 2, DVI e WDI) 2005. j</i>	<i>j</i>
<i>Anexo 8. Transformações radiométricas (IV-Razão Simples: RVI, RS 3:4, RS 5:3 e RS 5:4) 2008.....k</i>	<i>k</i>
<i>Anexo 9. Transformações radiométricas (IV-Normalizados: NDVI, ND 5:3, ND 5:4 e ND 5:7) 2008. ...l</i>	<i>l</i>
<i>Anexo 10. Transformações radiométricas (IV-Normalizados: TTVI, TVI, CTVI e NRVI) 2008. m</i>	<i>m</i>
<i>Anexo 11. Transformações radiométricas (IV-Complexos: PVI, PVI 1, PVI 2 e PVI 3) 2008.....n</i>	<i>n</i>
<i>Anexo 12. Transformações radiométricas (IV-Complexos: SAVI a, SAVI b, SAVI c e MSAVI 2) 2008. o</i>	<i>o</i>
<i>Anexo 13. Transformações radiométricas (IV-Complexos: TSAVI 1, TSAVI 2, DVI e WDI) 2008. p</i>	<i>p</i>
<i>Anexo 14. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Razão Simples) 2005. q</i>	<i>q</i>
<i>Anexo 15. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Normalizados) 2005. r</i>	<i>r</i>
<i>Anexo 16. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Normalizados) 2005. s</i>	<i>s</i>
<i>Anexo 17. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2005. t</i>	<i>t</i>
<i>Anexo 18. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2005. u</i>	<i>u</i>
<i>Anexo 19. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2005. v</i>	<i>v</i>
<i>Anexo 20. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Razão Simples) 2005. w</i>	<i>w</i>
<i>Anexo 21. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Normalizados) 2005. x</i>	<i>x</i>
<i>Anexo 22. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Normalizados) 2005. y</i>	<i>y</i>
<i>Anexo 23. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2005. z</i>	<i>z</i>
<i>Anexo 24. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2005. aa</i>	<i>aa</i>
<i>Anexo 25. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2005. bb</i>	<i>bb</i>
<i>Anexo 26. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Razão Simples) 2005. cc</i>	<i>cc</i>
<i>Anexo 27. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Normalizados) 2005. dd</i>	<i>dd</i>
<i>Anexo 28. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Normalizados) 2005. ee</i>	<i>ee</i>
<i>Anexo 29. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2005. ff</i>	<i>ff</i>
<i>Anexo 30. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2005. gg</i>	<i>gg</i>
<i>Anexo 31. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2005. hh</i>	<i>hh</i>
<i>Anexo 32. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Razão Simples) 2005. ii</i>	<i>ii</i>
<i>Anexo 33. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Normalizados) 2005. jj</i>	<i>jj</i>

<i>Anexo 34. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Normalizados) 2005.</i>	<i>kk</i>
<i>Anexo 35. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2005.</i>	<i>ll</i>
<i>Anexo 36. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2005.</i>	<i>mm</i>
<i>Anexo 37. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2005.</i>	<i>nn</i>
<i>Anexo 38. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Razão Simples) 2008.</i>	<i>oo</i>
<i>Anexo 39. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Normalizados) 2008.</i>	<i>pp</i>
<i>Anexo 40. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Normalizados) 2008.</i>	<i>qq</i>
<i>Anexo 41. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>rr</i>
<i>Anexo 42. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>ss</i>
<i>Anexo 43. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>tt</i>
<i>Anexo 44. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Razão Simples) 2008.</i>	<i>uu</i>
<i>Anexo 45. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Normalizados) 2008.</i>	<i>vv</i>
<i>Anexo 46. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Normalizados) 2008.</i>	<i>ww</i>
<i>Anexo 47. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>xx</i>
<i>Anexo 48. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>yy</i>
<i>Anexo 49. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>zz</i>
<i>Anexo 50. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Razão Simples) 2008.</i>	<i>aaa</i>
<i>Anexo 51. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Normalizados) 2008.</i>	<i>bbb</i>
<i>Anexo 52. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Normalizados) 2008.</i>	<i>ccc</i>
<i>Anexo 53. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>ddd</i>
<i>Anexo 54. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>eee</i>
<i>Anexo 55. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>fff</i>
<i>Anexo 56. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Razão Simples) 2008.</i>	<i>ggg</i>
<i>Anexo 57. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Normalizados) 2008.</i>	<i>hhh</i>
<i>Anexo 58. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Normalizados) 2008.</i>	<i>iii</i>
<i>Anexo 59. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>jjj</i>
<i>Anexo 60. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>kkk</i>
<i>Anexo 61. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2008.</i>	<i>lll</i>



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais

RESUMO

**Tese de Doutorado
Édson Luis Bolfe**

Observações indicam que sistemas naturais da Terra estão sendo afetados pelas mudanças climáticas, despertando na sociedade grande preocupação sobre a ocupação de diversas regiões. Dentre as causas dessas mudanças, destacam-se as emissões de CO₂ (Dióxido de Carbono) via alteração no uso e cobertura da terra. A região Amazônica, em função da trajetória ocupacional, tem recebido atenção da comunidade científica quanto à sua influência no fluxo de carbono global. Por outro lado, nesta região, composta por um mosaico heterogêneo de uso da terra, é crescente a condução de Sistemas Agroflorestais (SAF's). Estes sistemas fazem parte de uma estratégia importante de uso da terra, voltada à qualidade de vida, comercialização e aos serviços ambientais como a elevação da biodiversidade e fixação de carbono. Os SAF's podem ser reconhecidos como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) no contexto do Protocolo de Kyoto, desde que amparado cientificamente por metodologias de avaliação do estoque de carbono. Os trabalhos focados nestas metodologias são resumidos, uma vez existe grande dificuldade técnica-científica em se obter e analisar características intrínsecas a cada agrofloresta. Nessa perspectiva, este estudo objetivou gerar modelos de estimativa de carbono estocado na biomassa epígea de SAF's da região de Tomé-Açu, PA, por meio da correlação entre variáveis espectrais e parâmetros biofísicos. Utilizou-se arcabouço teórico da Escola Geográfica Espacial; instrumentais geotecnológicos como sistemas de informações geográficas e imagens de satélites; inventários agroflorestais e análises florísticas e estruturais. Considerando a variabilidade observada nos SAF's, estes foram divididos em quatro classes (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) para as quais estimou-se a biomassa epígea (106,51Mg.ha⁻¹) e o estoque de carbono (47,93MgC.ha⁻¹) médio e individualmente. Os SAF's estudados demonstraram-se importantes acumuladores de carbono, podendo contribuir no processo de sequestro do CO₂. As correlações obtidas entre as variáveis espectrais (índices de vegetação) e características biofísicas (carbono) por meio de regressão linear foram em sua grande maioria significativas ($r^2=0,54$ a $r^2=0,84$); indicando, assim, potencial na predição do estoque de carbono. Dentre os melhores modelos, destacam-se aqueles obtidos pelo: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Ratio Vegetation Index* (RVI), *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 1* (TSAVI 1), *Simple Ratio* (RS 5:3), *Normalized Difference* (ND 5:7), *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 2* (TSAVI 2) e *Perpendicular Vegetation Index 3* (PVI 3). O arcabouço teórico-metodológico baseando na matriz geográfica forneceu melhor compreensão dos resultados, possibilitando uma síntese de análise regional por grupo de índices ou por classe agroflorestal, gerando mapas de carbono da região os quais poderão subsidiar o desenvolvimento rural sustentável.



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

**Development of a methodology to the estimation of biomass and of carbon in
agroforestry systems for middle of orbits image**

ABSTRACT

Doctorate Thesis

Édson Luis Bolfe

Remarks indicate that natural systems of the Earth are being affected for transformation about the ability of diverse region. Within the causes these changes, detach the emission of CO₂ (Carbon Dioxide) way alteration in land use and land cover. The Amazonian region, in function of the occupation trajectory has received attention of the scientific community all that its influence in flux of global carbon. On the other hand, this region, compound for a heterogeneity mosaic of use of the earth, is crescent the carriage of agroforestry system. These systems make part of important strategy of land use, returned the quality of live, commerce and the environmental services like the elevation of the biodiversity and fixing of carbon. The agroforestry system can be acknowledged of Clean Development Mechanism (CDM) in context of the Protocol of Kyoto, since that protected scientifically for methodologies of valuation of the carbon storage. The works focus these methodologies are abridged once exist large difficulty technique – scientific into obtain and analyze intrinsic characteristics a each agroforestry system. This perspective, this study objective generates models of estimate of storage carbon of biomass of agroforestry system of the region from Tomé-Açu, PA, through of the correlation between variable spectral and biophysics parameters. Utilized theoretical chest in the School Spatial Geography; instruments geotechnologies like geographic information system and image of satellites; agroforestry inventories and analyses florists and structural. Regarding the variability perceived in agroforestry system, these were divided by four classes (SAF 1, SAF 2, SAF 3 and SAF 4) in order that esteem the biomass (106,51Mg.ha⁻¹) and the storage carbon (47,93MgC.ha⁻¹) medium and individually. The agroforestry systems studied demonstrate important accumulators of carbon, powering contributes in process of sequestration of CO₂. The correlations obtain between variable spectral (vegetation index) and biophysics characteristics (carbon) through of linear regression were in its great majority significant ($r^2 = 0,54$ the $r^2 = 0,84$), indicating thus, the capacity in the prediction of the storage carbon. Within the best models, detached that acquired for: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Ratio Vegetation Index* (RVI), *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 1* (TSAVI 1), *Simple Ratio* (RS 5:3), *Normalized Difference* (ND 5:7), *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 2* (TSAVI 2) and *Perpendicular Vegetation Index 3* (PVI 3). The theoretical chest in origin geographic matrix provided a comprehension of the results, facilitating a synthesis of the regional analysis for group of index or for agroforestry class generating maps of the carbon of the region, which will be allowed to subsidize the rural sustainable development.

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo é fruto do esforço em congregar alguns conhecimentos das áreas de Engenharia Florestal e da Geografia, e assim, optou-se por dividir o texto em sete capítulos, de forma a relacionar todas as etapas realizadas em gabinete, campo e laboratório, almejando uma melhor forma de leitura e compreensão da temática abordada.

No primeiro capítulo, é apresentada a temática abordada nesta pesquisa, assim como sua estrutura de desenvolvimento. Na primeira seção apresenta-se a **Estrutura de Desenvolvimento** do presente texto. Na segunda seção, é apresentada a **Motivação Pessoal e Profissional** para a elaboração da presente pesquisa. A terceira seção, intitulada **Questões da Pesquisa**, aborda a relação entre as mudanças de uso e cobertura da terra e as mudanças climáticas, a inserção dos sistemas agroflorestais como instrumentos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) na Amazônia e a relevância dos estudos envolvendo as geotecnologias no âmbito de mensuração de biomassa e carbono nesses sistemas de produção locais. Na quarta seção é apresentada a **Hipótese** de pesquisa; e finalizando o capítulo, a quinta seção refere-se aos **Objetivos** propostos.

O capítulo dois aborda alguns temas relevantes na constituição da paisagem, sua influência na dinâmica de ocupação da região amazônica e sua relação com as mudanças climáticas. Os temas serão descritos em quatro seções, sendo que a primeira trata brevemente dos conceitos de **Paisagem, Análise Espacial, Uso e Cobertura da Terra**, que deverão ser utilizados como referência para a compreensão dos sistemas produtivos da área de estudo; na segunda é apresentado um breve **Histórico do Uso e Cobertura das Terras na Amazônia Brasileira** e os sistemas produtivos vigentes. Na terceira seção, contextualizam-se as **Mudanças Climáticas, Políticas Globais e os Sistemas Produtivos Sustentáveis**. O capítulo é finalizado com a quarta seção, que abordará os **Sistemas Agroflorestais e o Acúmulo de Biomassa e Carbono**.

No capítulo três, é abordada a inserção histórico-cultural da área de estudo da presente pesquisa na paisagem Amazônica, a qual foi realizada em áreas de produtores rurais, vinculados à Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA), localizada no Distrito de Quatro Bocas, no município de Tomé-Açu, Pará. Para isso, dividiu-se este capítulo em três seções: **Condicionantes Físico-Geográficos, Aspectos Histórico-Culturais e Aspectos Sócio-Econômicos**.

No quarto capítulo, subdividido em três seções, será apresentado o escopo teórico-metodológico da pesquisa realizada, a qual foi baseada no Sensoriamento Remoto (SR) e em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), objetivando gerar e analisar informações espaço-temporais no que tange à biomassa existente nos sistemas de produção agroflorestal. Na primeira seção, intitulada **Comportamento Espectral da Vegetação**, são descritos tópicos relacionados com a radiação eletromagnética e a refletância espectral do dossel da vegetação. Na seção posterior, intitulada **Índices de Vegetação**, são apresentados e discutidos os principais índices utilizados atualmente para estimar parâmetros biofísicos da vegetação. Finalizando, na seção denominada de **Aspectos Metodológicos**, são apresentadas as etapas da metodologia realizada por meio de um fluxograma de trabalho.

No quinto capítulo, subdividido em três seções, é apresentado o processo metodológico detalhado e os dados de desenvolvimento dos modelos de estimativa de biomassa/carbono nos sistemas agroflorestais pesquisados. Na primeira seção, intitulada **Cálculo da Biomassa/C nos SAF nas Áreas Amostrais**, são relacionados os procedimentos utilizados para a amostragem *in loco*, caracterização estrutural/florística e a estimativa da biomassa epígea e carbono por meio de equações alométricas. A seção posterior, **Cálculo das Variáveis Espectrais nos SAF da Área de Estudo**, aborda o processamento digital das imagens de satélite utilizadas e o cálculo dos índices de vegetação. A terceira seção, **Correlação das Variáveis Espectrais e a Biomassa/C nos SAF da Área de Estudo** engloba os aspectos relacionados a procedimento de regressões entre os dados de campo e as variáveis espectrais (2005 e 2008) e análises conjuntas.

No sexto capítulo, o qual é subdividido em duas seções, os modelos de estimativa de biomassa gerados para cada classe agroflorestal são espacializados por meio de mapas de carbono. Na primeira seção, intitulada **Espacialização e Geração de Mapas de Carbono para a Região de Estudo**, são apresentados os procedimentos e resultados obtidos na espacialização via instrumentais em ambiente de SIG. A segunda seção intitulada **Avaliação dos Resultados e Validação dos Modelos Gerados**, são apresentados e discutidos os resultados obtidos quanto sua exatidão a partir de índices de acurácia.

Por fim, através das **Considerações Finais**, almeja-se repassar ao leitor de forma resumida os principais aspectos, observações, conclusões e aprendizados do presente estudo.

1.1.Estrutura de Desenvolvimento

Para o desenvolvimento do presente texto, optou-se pela estrutura subdividida em capítulos conforme o organograma apresentado na Figura 1.1.

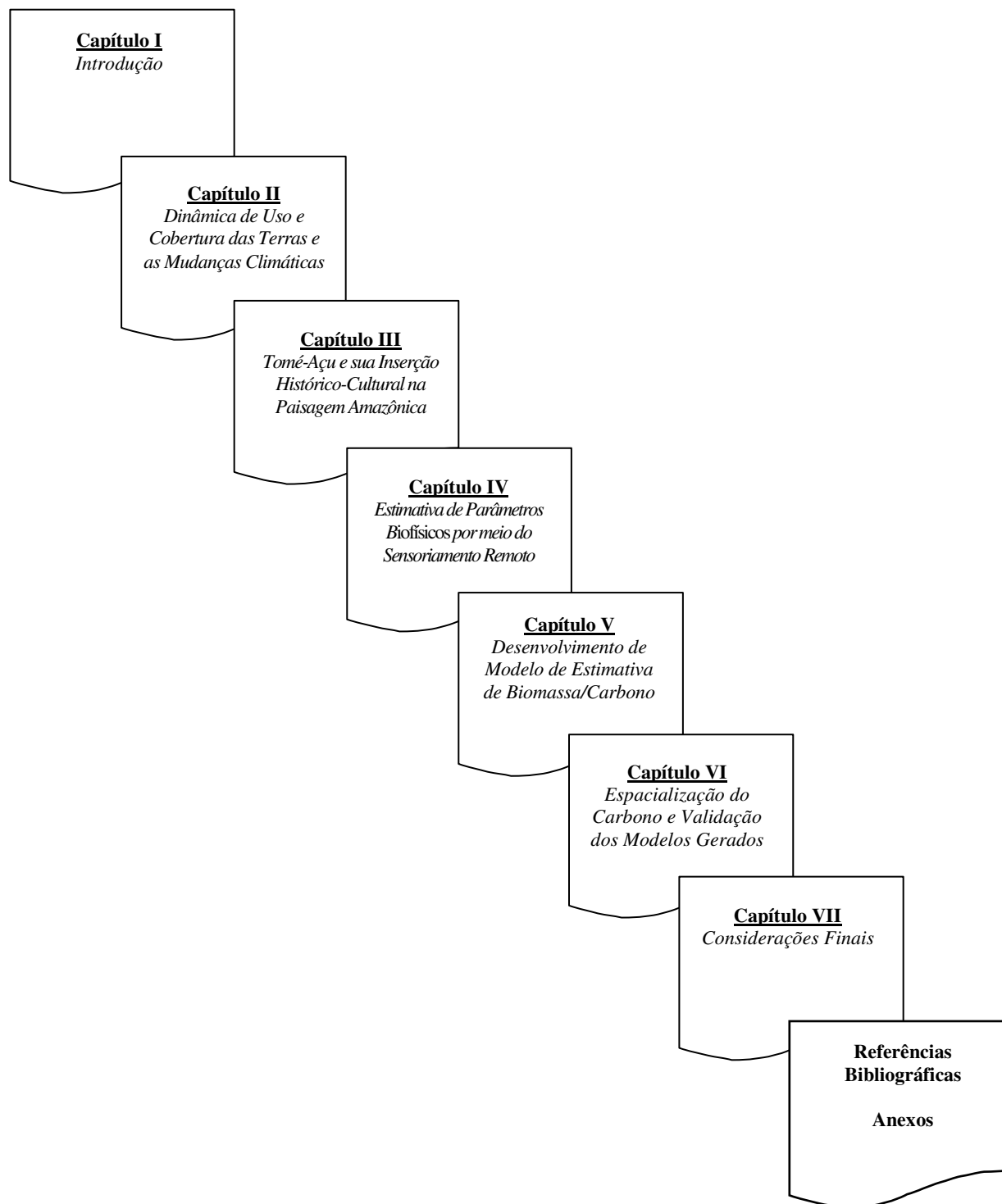


Figura 1.1. Organograma de apresentação dos capítulos da Tese.

1.2.Motivação Pessoal e Profissional

Desde 1994 venho acompanhando as discussões em torno dos serviços ambientais. Talvez pela forte influência durante o curso de engenharia florestal iniciado naquele ano, no qual sempre olhava a floresta como algo que poderia ser valorado não pela sua madeira e subprodutos, mas pelos seus benefícios ambientais e sociais. O que também se confunde um pouco com a própria infância, pois meu Pai, agricultor, era e ainda o é aos seus sessenta e quatro anos de vida, um profundo conhecedor da biologia e dos benefícios das árvores.

Continuando esse percurso próximo a questões dos serviços ambientais, após concluir o mestrado em sensoriamento remoto em 2001, tive a grata surpresa em construir uma amizade com colega de trabalho no nordeste do Brasil, que também almejava essa elevação do patamar florestal, agora sintetizado em atividades, ações e projetos materializados nos sistemas agroflorestais. E ainda, aliado aos anseios pessoais, fui surpreendido pelos acontecimentos; minha companheira, pedagoga de formação, se inclinou durante o Mestrado e Doutorado para os aspectos sócio-culturais dos agricultores agroflorestais que enxergam na agrofloresta um caminho viável para uma melhor qualidade de vida.

Em 2005, mais uma vez o destino reserva uma surpresa agroflorestal: Outro colega de trabalho e amigo, agora do sudeste, convida para participar de trabalho de campo de projeto envolvendo sistemas agroflorestais na região Norte do Brasil. Ao conhecer o distrito de Quatro Bocas, em Tomé-Açu (PA), me deparo com tudo àquilo que imaginava como forma sustentável de produção no meio rural e encontro imigrantes de origem oriental, que mesmo passando pelas adversidades culturais, climáticas e de saúde possuem como lema de vida: *“crescemos em harmonia com a natureza”*.

Neste momento pessoal e profissional, já havia tomado a decisão de buscar novas fronteiras do conhecimento por meio do curso de doutorado e, dentre os inúmeros contatos, encontrei um Professor, que acreditou nos ideais de um projeto, cujo escopo era baseando na mensuração do estoque de carbono de sistemas agroflorestais por meio das geotecnologias.

Assim, amparado por ideais pessoais e profissionais, mas, principalmente, pelas amizades construídas ao longo dessa trajetória, mergulhei no desenvolvimento dessa Tese durante os últimos quatro anos, elaborando um trabalho que envolve conhecimentos dinâmicos e almeja contribuir, seja o mínimo possível, mas de forma significativa, para a geração de mais empregos e renda no meio rural por meio dos serviços ambientais.

1.3. Questões da Pesquisa

A elevação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, tornou-se um grave problema ambiental e econômico na atualidade, face as suas implicações no aumento da temperatura média do Planeta. Essa elevação é causada, principalmente, pelas emissões de CO₂ (Dióxido de Carbono) via queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso e cobertura da terra (como o desmatamento e as queimadas), as quais ocasionam alterações importantes nos estoques naturais de carbono. Isto por que, depois do vapor d'água que causa de 36 a 70% do efeito natural (não incluindo nuvens), o CO₂ é o GEE que mais contribui para o efeito estufa (entre 9 a 26%) (Cole et al., 1995; IPCC, 2007).

As evidências obtidas por meio de observações em todos os continentes e na maior parte dos oceanos mostram que muitos sistemas naturais estão sendo afetados pelas mudanças climáticas regionais, principalmente pelo aumento da temperatura (IPCC, 2007). Dentre os efeitos da elevação da temperatura global, o IPCC destaca impactos inerentes ao aumento e escassez hídrica nas diferentes regiões; à diminuição de até 30% da biodiversidade dos ecossistemas; ao decréscimo da produtividade de certas regiões agropecuárias e à disponibilidade de pesca; além do aumento dos danos em regiões litorâneas decorrentes de inundações e tempestades e elevação do ônus decorrente de má nutrição, diarreia, doenças cardiorrespiratórias e infecciosas.

Após análise de estudos observacionais e de modelagem sobre as mudanças climáticas de origem antrópica, decorrentes de alterações do uso e cobertura da terra na Amazônia, Nobre et al. (2007, p. 24) relatam que:

Tais alterações estão ligadas diretamente ao desmatamento de sistemas florestais para transformação em sistemas agrícolas e/ou pastagem, o que implica em transferência de carbono (na forma de dióxido de carbono) da biosfera para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global, o qual por sua vez acaba atuando sobre a região amazônica.

Nessa região, verificou-se nas últimas décadas, mudança significativa da cobertura florestal (INPE, 2002, 2005, 2008), onde a ocupação histórica foi baseada no extrativismo vegetal e mineral, além da implantação de projetos agropecuários. A crescente dinâmica ocupacional e a evolução de áreas degradadas em função da agropecuária chamaram a atenção da comunidade científica quanto ao papel da Amazônia no cenário das mudanças globais, destacando-se a

necessidade de compreender o fluxo e o balanço nos estoques de carbono devidos às mudanças do uso e cobertura da terra.

Salienta-se aqui, que as restrições ambientais em vigor no Brasil (manutenção de áreas de reserva legal e de preservação permanente) e o crescimento de áreas degradadas, aliado à elevação da consciência sobre a temática da sustentabilidade, estão incorporando o meio ambiente como parte fundamental das estratégias de implantação dos sistemas de produção agropecuárias na região. Romeiro e Filho (1996) destacam que, embora existam aspectos caricaturais e com muitas proposições alternativas e contraditórias sobre a formulação de problemas e a proposição de soluções (seja em âmbito planetário, nacional, regional ou local), a consciência ambiental assume proporções inéditas e tem caráter irreversível como um problema socialmente legitimado.

Por outro lado, alguns grupos de pesquisa contestam os resultados obtidos a partir das observações do IPCC, enfatizando que os modelos climáticos gerados são de baixa confiabilidade técnico-científica para promover políticas públicas climáticas baseadas nas previsões desses modelos. Dentre estes grupos, destaca-se o liderado pela minoria republicana no Senado dos EUA denominado de “Cientistas Dissidentes”, o qual emitiu um relatório com mais de 650 cientistas de todo o mundo, os que afirmam discordar tecnicamente da tese segundo a qual o aquecimento global é causado pela ação do homem (U. S. Senate Minority Report, 2009). Este documento refere-se a uma atualização de relatório do IPCC de 2007 em que 400 cientistas “expressaram ceticismo sobre o chamado ‘consenso’ do aquecimento global”.

Porém, com as inúmeras evidências a partir do relatório do IPCC (IPCC, 2000) das consequências do processo de aquecimento global, houve um aumento sensível nas discussões sobre as formas de minimização desse cenário no âmbito do Protocolo de Kyoto, assinado em 1997, ratificado em 2005 (BRASIL, 2005). Dentre as várias medidas estabelecidas neste protocolo visando à redução das emissões dos GEE, destaca-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL. Este mecanismo foi implementado objetivando assistir os diferentes países do processo de emissão, para que eles reduzam suas emissões de GEE na atmosfera. Os países signatários (Anexo I da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima que inclui os países “desenvolvidos”, membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD e os países do antigo bloco soviético em “transição de economia”) se comprometeram a reduzir as suas emissões em 5,2% em relação ao

verificado em 1990, durante o período 2008-2012. Dessa forma, o conjunto desses países deverá atingir a meta global, onde cada país individualmente poderá negociar com outros países de forma que o superávit de contenção de emissões de um país possa ser contabilizado a favor de outro que não tenha atingido a sua própria meta.

Ressalta-se ainda que, no “Framework Convention on Climatic Change” (UNFCCC, 1998), foram estabelecidas definições e diretrizes relativas aos projetos de MDL no que tange ao uso da terra, à mudança de uso da terra e atividades florestais (Land Use, Land Use Change and Forestry - LULUCF) pelo qual se estabeleceu que, cada tonelada de gás carbônico que deixa de ser emitida, ou que é retirada da atmosfera, pode ser “negociada” no mercado mundial. As atividades previstas com o LULUCF estão limitadas ao florestamento e reflorestamento no primeiro período de contabilização de créditos (2008-2012). Por outro lado, incentivam-se ações imediatas no início do processo às atividades de redução das emissões de GEE, para que os créditos relativos aos projetos possam ser contabilizados no futuro e inicia-se o debate para o pós-Kioto.

Neste contexto, Kitamura (1995) já destacava que, para o mundo, a Floresta Amazônica pode ser percebida como reguladora do meio ambiente global (dos ciclos biogeoquímicos e do efeito estufa) e como repositório de biodiversidade. Já para as comunidades locais, essa mesma floresta pode ser percebida como reguladora do equilíbrio dos ecossistemas em que vivem e como rede de sua subsistência (produtos e serviços para o dia-a-dia). Entende-se que a Amazônia é composta por uma grande heterogeneidade de ecossistemas e formas de uso e cobertura da terra e, assume-se, que a região possui elevada diversidade de configurações espaciais, variando de região para região. Assim, parte-se dessa percepção de heterogeneidade do espaço amazônico para propor, neste trabalho, como contribuição para os estudos envolvendo a estimativa de biomassa e a fixação de carbono em sistemas produtivos vigentes na região, uma metodologia que possibilite tratar, científica e tecnicamente, sistemas produtivos mais sustentáveis no âmbito dos serviços ambientais.

Romeiro (1999) relata que os bens ambientais transacionados no mercado (insumos materiais e energéticos) estão em crescente escassez ocasionando a elevação dos preços, induzindo assim, a introdução de inovações que permitam poupá-los, substituindo-os por recursos mais abundantes. Por outro lado, salienta que, em se tratando de bens (serviços) ambientais em geral não transacionados no mercado, por sua natureza de bem público (ar, água, ciclos bioquímicos globais de sustentação da vida, capacidade de assimilação de rejeitos, paisagem), os mecanismos de

mercado falham. Para corrigir estas falhas, este autor enfatiza que é necessário intervir para que a disposição de pagar por esses bens possa se expressar à medida que sua escassez aumenta. Neste sentido, Kitamura e Rodrigues (2000) observam que está sendo criada uma oportunidade relevante de serviços ambientais na Amazônia, onde produtos gerados por processos que não contaminam ou degradam o meio ambiente, sem resíduos de agrotóxicos e ou aditivos, seriam utilizados. A pesquisa, o desenvolvimento e o uso crescente de tecnologias de sequestro de CO₂ são incentivados pelo Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1998; IPCC, 2007). Este reconhecimento possibilita que o sequestro de carbono em solos cultivados e florestados possam ser capitalizados na forma de serviços ambientais e créditos de carbono (Walsh, 1999, IPCC, 2007). Assim, Homma (2003) destaca o surgimento de um novo ciclo econômico na Amazônia, baseado no comércio de serviços ambientais, onde a ecologia deixa de ser uma ação filantrópica, humanitária ou de simples preservação ambiental. Atualmente, o mercado internacional de créditos de carbono vem ganhando força por meio de sua inserção em bolsas de valores importantes, a exemplo da Chicago Climate Exchange (CCX, 2005) e a Bolsa de Mercadorias e Futuros de São Paulo (BM&F, 2007).

Controvérsias à parte, surgem novos enfoques entre aspectos biológicos das florestas e sócio-econômicos dos agricultores, como, por exemplo, o “Carbono Social”, apontado por Rezende e Merlin (2003) como um novo contexto da relação floresta-comunidade, que culmina no surgimento de um novo conceito ecológico estreitamente ligado à prática dessas comunidades.

Montagnini e Nair (2004) enfatizam que encontrar métodos de baixo custo para sequestrar carbono é um dos objetivos principais da política internacional no contexto das mudanças globais do clima e os serviços ambientais. Essa demanda tem sido intensificada a partir do último relatório do IPCC (2007), onde é destacado que as atividades agrícolas de mitigação relacionadas com as florestas podem reduzir de forma considerável as emissões por fontes e aumentar as remoções de CO₂ por sumidouros com custos baixos e podem ser planejadas para criar sinergias com a adaptação e o desenvolvimento sustentável, gerando empregos e renda, contribuindo para a biodiversidade e a conservação das bacias hidrográficas, elevando a oferta de energia renovável e reduzindo a pobreza.

No Brasil, em especial na região da Amazônia, os sistemas agroflorestais estão sendo amplamente estudados e difundidos nos últimos anos com ênfase na agricultura familiar (Peneireiro, 1999; Kitamura e Rodrigues, 2000; Yana e Weinert, 2001; Osterroht, 2002, Santiago, 2004; Luizão et al., 2006; Kato et al., 2006; Carvalho, 2006). Esses sistemas produtivos permitem a recuperação de áreas degradadas, a produção de cultivos diversificados (alimentares e biocombustíveis) e a

geração de serviços ambientais (infiltração d'água, aumento da matéria orgânica, elevação da biodiversidade), constituindo-se ainda como importante sistema de fixação de carbono na biomassa e no solo, contribuindo com a sustentabilidade da região.

A sustentabilidade, de acordo com Sachs (1990), constitui-se num conceito dinâmico, a qual considera necessidades crescentes das populações num contexto internacional em constante expansão. A sustentabilidade tem como base as dimensões: social, econômica, ecológica, geográfica e cultural (Sachs, 1990), ambiental, territorial (em lugar de geográfica), política nacional e política internacional (Sachs, 2002).

A sustentabilidade social está ligada ao padrão estável de crescimento, melhor distribuição de renda com redução das diferenças sociais. Já a econômica refere-se ao “fluxo constante de inversões públicas e privadas” além da destinação e administração corretas dos recursos naturais. A sustentabilidade ecológica vincula-se ao uso efetivo dos recursos naturais existentes nos ecossistemas com deterioração ambiental mínima. A geográfica aborda a má distribuição populacional no planeta, sendo “necessário buscar uma configuração rural e urbana mais equilibrada”. A sustentabilidade cultural procura a realização de mudanças em harmonia com a continuidade cultural vigente. Já a sustentabilidade ambiental proporciona que os ecossistemas naturais realizem autodepuração. A territorial objetiva a eliminação de disparidades inter-regionais, a destinação igualitária de investimentos públicos e a “conservação da biodiversidade pelo ecodesenvolvimento”. A sustentabilidade inerente às políticas nacionais passa por “nível razoável de coesão social”, democracia e capacidade institucional do Estado “para implementar o projeto nacional”. Já a sustentabilidade das políticas internacionais perpassa pela garantia de paz assegurada pela ONU, controle do sistema financeiro internacional, cooperação científica e menores disparidades sociais norte-sul (Sachs, 1990; 2002).

Assim, dentro da região Amazônica, Yamada (2009) destaca a importância ambiental e sócio-econômica de sistemas agroflorestais formados pelos agricultores nikkeis¹ na região de Tomé-Açu (PA). Estas agroflorestas foram implantadas por meio da experimentação empírica e mediante tentativas e ajustes, sendo desenvolvidos vários consórcios com espécies nativas e exóticas.

Os sistemas agroflorestais na Amazônia têm demonstrado vantagens comparativas em relação aos monocultivos, pois, além de evitar a degradação de solos e proporcionar o aumento

¹ Pessoa de origem japonesa, emigrantes japoneses e seus descendentes.

da matéria orgânica com consequente benefício para a melhoria química e física dos solos, traz o grande mérito de reduzir a incidência de pragas e doenças nas lavouras (Valois, 2003). Este autor destaca que a agrofloresta não se constitui apenas em sistema de produção, mas no uso da terra de maneira estratégica, pois a produção é elevada por unidade de área, principalmente pela combinação simultânea ou escalonada de espécies anuais, semi-perenes, perenes, madeiras e não-madeiras, além da pecuária, sendo compatível com os padrões dos produtores rurais familiares, para o caso da Amazônia.

Cada sistema agroflorestal implantado possui uma dinâmica fotossintética diferenciada devido às condições edafoclimáticas intrínsecas do ambiente e pelo arranjo de espécies anuais, semi-perenes e perenes utilizadas na composição das áreas de cultivo, formando, assim, classes distintas de estoque de carbono pela emissão ou sequestro da atmosfera. O estudo do uso e cobertura da terra torna-se indispensável para amparar decisões gerenciais vinculadas às atividades econômicas e ambientais, como políticas públicas de uso dos recursos naturais, manejo florestal, estudos de ciclagem de nutrientes e sequestro de carbono, entre outros.

Nessa ótica, é crescente a inserção dos sistemas agroflorestais na Amazônia como instrumentos locais de MDL, pois preconizam práticas agroecológicas e valorizam o saber cultural. Economicamente, além do agricultor e a comunidade serem potenciais prestadores de serviços ambientais, recebendo recursos diretos para a implantação de projetos dentro do contexto de MDL, é evidente a diversificação e a constância produtiva dos sistemas agroflorestais, onde fatores de implantação e manejo elevarão o potencial biológico da terra, aumentando a produção agrícola e, portanto, diminuirão a pressão sobre os recursos naturais, sendo fator positivo para o desenvolvimento das populações e a diminuição das desigualdades sociais.

A estimativa de biomassa de sistemas envolvendo componentes florestais permite gerar informações e dados sobre o estoque de micro e macro nutrientes existentes na vegetação, as quais são de elevada relevância no manejo florestal, no que tange ao uso dos recursos naturais de forma sustentável, assim como nas questões relacionados ao clima, onde a biomassa é utilizada para estimar o estoque de carbono na vegetação e a quantidade de CO₂ que é liberado à atmosfera devido à adoção de diferentes usos da terra (Fearnside et al., 1993; Higuchi e Carvalho, 1994; Brown et al., 1995; Fearnside, 1996; Hairiah et al., 2001; Lu et al., 2005; IPCC, 2007).

Existe grande dificuldade em se avaliar e se analisar características terrestres locais, como a capacidade de fixação de carbono pelos vegetais e no solo, e gerar metodologias e processos de extrapolação para áreas geograficamente mais abrangentes. A definição dessas metodologias e processos torna possível a análise e a certificação técnico-científica de serviços ambientais para grandes extensões, baseadas no uso e cobertura da terra (Winrock, 1997).

Alguns estudos (Winrock, 1997; Houghton, 1999; Paul et al., 2003; Icrat, 2004; Feistauer et al., 2004; Tsukamoto, 2004; Fernandes, 2006) têm sido realizados com objetivo de estimar o carbono fixado por sistemas agroflorestais, mas são baseados exclusivamente em métodos “destrutivos”, nos quais necessita-se obter amostras “*in-loco*” das diferentes partes aéreas das plantas. Estes métodos se constituem de etapas laboriosas, pouco produtivas, com baixa expressão para gerar dados mais abrangentes e com relativo “dano ambiental”, tornando o processo ineficiente quando assumidos compromissos quantitativos em esfera geopolítica observando a certificação de serviços ambientais nos processos de MDL. Nenhum dos estudos analisados foi realizado com vistas à formatação de processos de estimativa de biomassa e carbono em sistemas agroflorestais por meio de geotecnologias para a região amazônica.

Na perspectiva da utilização de imagens de satélite e sistemas de informação geográfica na estimativa do carbono fixado em sistemas de produção, são apontadas “maiores vantagens” em analisar as características terrestres quando realizado mediante inventários locais. Estas vantagens incluem: o tempo que é requerido para a classificação por imagens de satélite é significativamente menor, pois a classificação e a identificação de áreas geográficas torna possível a análise de grandes extensões (Lauver e Whistler, 1993).

Segundo Brown (1996) e Winrock (1997), o maior desafio na mensuração e monitoramento do carbono em sistemas agroflorestais em relação aos monocultivos de áreas agrícolas e florestais, é face à dispersão das áreas e os diferentes sistemas de manejo aplicados na condução.

Dessa forma, torna-se imprescindível o desenvolvimento de processos e métodos mais eficazes para mensurar e estimar o carbono fixado na biomassa acima do solo os quais deverão ser formatados com base nas características intrínsecas ao local de estudo, porém passíveis de extrapolações para a paisagem analisada. Trabalhos envolvendo a quantificação indireta, ou seja, baseados em processos não destrutivos, envolvendo, por exemplo, equações alométricas e sensoriamento remoto para áreas florestais, estão ainda em fase inicial, e se constituem em um dos principais desafios técnico-científicos, tornando-se um parâmetro importante para os modelos

de estimativas de fluxo de carbono (Brown e Iverson, 1992; Iverson et al., 1993; Brown et al., 1993; Overman et al., 1994; Brown, 1997; Houghton, 1999; Ketterings et al., 2001; Foddy et al., 2003; Lu et al., 2005; IPCC, 2007).

Para a aplicação das equações alométricas, são utilizadas variáveis biofísicas, tipicamente altura e diâmetro, para estimar, por exemplo, a biomassa. O procedimento para determinar tais equações consiste em medir variáveis da vegetação e procurar uma função que caracterize a relação existente entre elas. Normalmente, são mensuradas a altura, o DAP (diâmetro a altura do peito) e a biomassa de um conjunto de árvores. Posteriormente, busca-se a relação existente entre os valores amostrados, sendo que a determinação da biomassa é realizada por meio de métodos destrutivos. Dessa forma, o processo de elaboração de equações alométricas envolve a aplicação de um método destrutivo da biomassa, porém, a aplicação futura destas equações é um método não-destrutivo de estimativa de biomassa.

Desde os estudos de Jordan (1969), considerado como sendo o precursor das pesquisas com índices de vegetação baseado no índice de vegetação da razão simples (RVI), inúmeros índices foram criados com o objetivo de melhorar a caracterização da vegetação e minimizar as interferências de fatores que prejudiquem a associação entre esses índices e as características biofísicas da vegetação.

A partir do RVI, surgiram diversos outros índices, cada um deles com suas características particulares. Destaca-se entre eles, o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) proposto por Rouse et al. (1973), o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), desenvolvido por Huete (1988) e o índice de vegetação melhorado (EVI), sugerido por Justice et al. (1998). Na prática, a importância dos índices de vegetação (IVs) está em sua estreita correlação com vários parâmetros biofísicos da vegetação, ou seja, na possibilidade de se estimar parâmetros como o índice de área foliar (IAF), biomassa, produtividade e atividade fotossintética (Huete, 1988).

As imagens índices de vegetação são derivadas basicamente de imagens da região do vermelho no espectro eletromagnético ($0,65\mu\text{m}$ a $0,72\mu\text{m}$) e do infravermelho próximo ($0,7\mu\text{m}$ e $1,3\mu\text{m}$) e frequentemente empregadas na estimativa não-destrutiva da biomassa fotossinteticamente ativa de várias formações vegetais (Asrar et al., 1984; Baret e Guyot, 1991; Jakubauskas e Prince, 1997; Ponzoni e Shimabukuro, 1998; Qi et al., 2000; Liu e Kogan, 2002; Foddy et al., 2003). No entanto, as extrapolações das relações entre índices de vegetação e

valores de biomassa determinados no campo para determinada comunidade vegetal apresenta dificuldades que ainda não foram totalmente resolvidas (Foody et al., 2003).

Assim, as imagens orbitais advindas do sensoriamento remoto são importantes fontes de dados para gerar informações espaço-temporais sobre a caracterização e monitoramento de recursos naturais, servindo de base técnico-científica em questões relacionadas às mudanças globais, como alterações no uso e cobertura da terra, no clima e no ciclo do carbono devido a causas naturais ou antrópicas. Esses instrumentais ligados às geotecnologias estão em fase inicial de utilização para a quantificação de carbono e, apesar das grandes dificuldades ainda existentes, caracterizam-se como recursos indispensáveis para estudos dessa natureza. O IPCC (2007) destaca como:

Principais tecnologias e práticas de mitigação projetadas para serem comercializadas antes de 2030: a melhoria das espécies de árvores para aumentar a produtividade da biomassa e o sequestro de carbono, a melhoria das tecnologias de sensoriamento remoto para análise do potencial de sequestro de carbono da vegetação/solo e mapeamento da mudança no uso da terra (IPCC, 2007, p.17).

Nesse sentido, este estudo visa contribuir com as pesquisas envolvendo a estimativa de biomassa e carbono acima do solo de sistemas agroflorestais na Amazônia, a partir da análise local realizada em agroflorestas existentes em Tomé-Açu, Pará, por meio de geotecnologias. Favorecerá ainda o desenvolvimento e validação de processos e metodologias técnico-científicas para quantificar o carbono fixado em sistema de produção caracterizado como MDL por meio de abordagens multidisciplinares, subsidiando o desenvolvimento rural sustentável local por caracterizar-se como uma alternativa à recuperação de áreas alteradas e como repositórios de carbono.

1.4. Hipótese

Este estudo fundamenta-se na hipótese de que as variações da biomassa epígea, em diferentes sistemas agroflorestais, ocasionam modificações nas propriedades espectrais dessa vegetação, a qual permite obter correlações significativas entre o estoque de carbono e índices de vegetação gerados por meio de imagens orbitais do sensor TM/Landsat.

1.5. Objetivos

Geral

Gerar modelos de estimativa de carbono estocado na biomassa epígea de sistemas agroflorestais da região de Tomé-Açu, PA, por meio da correlação entre variáveis espectrais advindas do sensoriamento remoto orbital e parâmetros biofísicos obtidos por métodos não-destrutivos.

Objetivos Específicos

- ✓ Analisar os aspectos fisionômico-estruturais das agroflorestas da região de Tomé-Açu (PA) a partir de dados inventariados em campo;
- ✓ Estimar o estoque de carbono na biomassa epígea dos sistemas agroflorestais estudados por meio de equações alométricas;
- ✓ Gerar imagens sínteses/índices de vegetação a partir de imagens TM/Landsat 2005 e 2008;
- ✓ Investigar a existência ou não de correlações entre as variáveis espectrais (índices de vegetação) e os parâmetros biofísicos (biomassa/carbono) nas diferentes classes agroflorestais;
- ✓ Identificar os índices de vegetações com melhor correlação entre as variáveis analisadas;
- ✓ Gerar mapas sínteses de biomassa/carbono nas diferentes classes agroflorestais e analisar sua distribuição espacial;
- ✓ Avaliar o desempenho dos modelos desenvolvidos por meio da sua espacialização em mapas síntese de biomassa/carbono para a região de estudo.
- ✓ Avaliar o desempenho dos modelos desenvolvidos por meio da sua espacialização em mapas síntese de biomassa/carbono para outra região.

2. DINÂMICA DE USO E COBERTURA DAS TERRAS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

2.1. A Paisagem, Análise Espacial, Uso e Cobertura da Terra

O termo “paisagem”, expressão comum ao Homem moderno, foi introduzido como conceito geográfico-científico no início do século XIX por Alexander Von Humboldt (1769-1859), considerado como o pioneiro da geografia física e geobotânica (Naveh e Lieberman, 1994). Para esses autores, Humboldt definiu paisagem como sendo “a totalidade das características de uma região da Terra”, sendo, uma das preocupações, conhecer as inter-relações entre os componentes da paisagem (características físicas do meio ambiente e aspectos humanos).

Historicamente, a evolução mais recente do estudo de paisagem está ligado a escola geográfica advinda da ex-União Soviética. Neste contexto, Naveh e Lieberman (1994) destacam que, com o desenvolvimento das ciências da terra no Ocidente, o termo paisagem passou a ter significado para a caracterização das feições fisiográficas, geológicas e geomorfológicas de determinada região da superfície terrestre, tornando-se sinônimo de forma de relevo. Por outro lado, estudos intensivos na ex-União Soviética, com objetivo de caracterizar seu território, permitiram a essa escola geográfica a interpretação e o desenvolvimento muito mais abrangente sobre o conceito de paisagem, relacionando neste conceito os fenômenos orgânicos e inorgânicos, denominando assim, o estudo dessa totalidade de Geografia da Paisagem.

Já o termo Ecologia da Paisagem foi proposto inicialmente em 1939 pelo geógrafo alemão Carl Troll, sendo o objetivo dessa nova ciência o estudo da paisagem, a qual, segundo Troll (1971), poderia ser definida como “uma entidade total espacial e visual, integrando a geoesfera, biosfera e a nooesfera – a esfera da consciência e mente humana”. Dessa forma, pode-se considerar a paisagem como uma entidade holística integrada, considerando-a como um “todo”, sendo mais do que simplesmente a soma de suas partes e, devendo ser estudada na sua totalidade. A partir desse momento, várias escolas da geografia desenvolveram novos fundamentos e conceitos sobre o termo Paisagem, exemplificado por Bertrand (1968), Zonneveld (1979), Forman e Godron (1986), Turner e Gardner (1991), Forman (1995) e Turner et al. (2002).

Bertrand (1968) define a paisagem como sendo uma determinada porção do espaço que resulta da combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais, interagindo dialeticamente uns sobre os outros, formam um conjunto único e indissociável em

evolução perpétua. A partir da década de 70 a questão ambiental começa a ser preocupação da sociedade. Guerasimov (1980) destaca a “ecologização das ciências”, ou seja, inicia-se a internalização de uma dimensão ambiental nas diversas áreas do conhecimento.

Neste sentido, Zonneveld (1979) conceitua paisagem como uma parte do espaço na superfície terrestre abrangendo um complexo de sistemas caracterizados pela atividade geológica, da água, do ar, de plantas, de animais e do homem e por suas formas fisionômicas resultantes, que podem ser reconhecidas como entidades. Assim, considera a Paisagem como uma entidade holística composta de elementos diferentes, uns influenciando os outros, propondo níveis hierárquicos de organização da paisagem no espaço, sendo eles:

- 1) Ecótopos – “land unit” é a menor unidade de terra holística, caracterizada pela homogeneidade de pelo menos um dos atributos da terra na geoesfera como: atmosfera, vegetação, solos, relevo, rocha e água.*
- 2) Fácies da Terra – “land facet” é uma combinação de ecótopos, formando um padrão de relações espaciais no qual as propriedades de pelo menos um dos atributos dos ecótopos estejam intimamente relacionadas.*
- 3) O Sistema de Terra – “land system” é uma combinação de fácies que formam uma unidade de mapeamento adequada em uma escala de reconhecimento.*
- 4) A Paisagem Principal – “main landscape” é uma combinação de sistemas de terra em uma região geográfica.*

Recentemente, surgiu a abordagem norte-americana em ecologia da paisagem, cujas pesquisas baseiam-se nos conceitos elaborados por Forman e Godron (1986) e que entendem a Ecologia da Paisagem como o estudo de áreas espacialmente heterogêneas em escalas que variam de dez a centenas de quilômetros, compostas de agrupamentos de sistemas que contêm manchas e corredores de diferentes tamanhos, número, tipos, configurações e funções.

Neste contexto, Forman (1995) define a paisagem como um mosaico onde a mistura de ecossistemas locais ou usos da terra são repetidos de forma similar em uma área ampla. Esta abordagem enfatiza a heterogeneidade espacial e efeitos ecológicos do padrão espacial de ecossistemas em grandes áreas de mosaicos de paisagens. Comparada com a abordagem Européia, que é mais voltada para o planejamento do uso da terra e processos de tomada de decisão (Turner e Gardner, 1991), a abordagem norte-americana enfatiza os processos ecológicos.

Assim, em contraste com diversos ramos da ecologia, fatores antropogênicos são explicitamente incluídos no reconhecimento do potencial do Homem em influenciar a estrutura e função da paisagem. Dessa forma, o estudo da ecologia da paisagem é focado não apenas nas dimensões físicas e biológicas de determinado ambiente, mas também em aspectos culturais, históricos e sócio-econômicos que, por sua vez, estão conectados aos diferentes usos da terra. Naveh (1991) destaca que, na ecologia da paisagem, o homem não representa apenas um fator de perturbação externa aos ecossistemas naturais, mas sim um componente interativo e co-evolucionário. No estudo da ecologia da paisagem são abordadas três dimensões, que resultam da combinação da dimensão topológica com sua heterogeneidade vertical: (a) devido aos atributos do uso e cobertura da terra, as relações corológicas entre a heterogeneidade horizontal, (b) causada pelos elementos da paisagem e a dimensão geoesférica e (c) advinda dos relacionamentos globais entre as paisagens (Naveh, 1991).

Estas dimensões podem, facilmente, serem analisadas espacialmente por meio dos dados e informações advindos do sensoriamento remoto processados e operados em sistemas de informação geográfica (SIG). Luchiari et al. (2005), ao abordarem as aplicações do sensoriamento remoto na geografia, onde a interpretação de imagens de satélite permite efetuar inúmeros mapeamentos como do uso do solo, da vegetação, de parâmetros meteorológicos, de parâmetros litológicos e de tipos de solo, destacam que as técnicas de análise de imagens são atualmente um recurso indispensável ao levantamento de componentes formadores das paisagens.

Burrough (1998) destaca que os SIG são compostos de coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais para um determinado propósito. Suas principais características são integrar em uma única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, combinando informações através de algoritmos de processamento para gerar mapeamentos derivados, consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados. As aplicações e usos do SIG dependem da existência de um sistema eficiente e lógico que possa transformar e associar elementos cartográficos a banco de dados (Peuquet e Marble, 1983).

Bolfe et al. (2008) destacam que inúmeros estudos foram relevantes no desenvolvido e na concepção das bases técnico-científicas para criação dos SIG existentes hoje, a exemplo de

Hartshorne (1939), que formulou as bases e conceitos para o pensamento corológico, baseado no conhecimento da Terra por meio do método geográfico de diferenciação e integração areal, estabelecendo a noção de região específica, área e lugar; Schaefer (1953), cujo pensamento e abordagem do espaço geográfico fundamentou a escola espacial; Bunge (1962), que trabalhou com bases geométricas para geografia; Berry (1964), que através da proposta de matriz geográfica fez uma tentativa de síntese de análise regional, estruturada por colunas (sítios) e linhas (situações); Tobler (1964a, 1964b), que desenvolveu algoritmos para projeções de mapas e cartografia por computador; Chorley e Haggett (1967), os quais trabalharam com a análise de componente escalar; Nystuen (1968), que desenvolveu conceitos fundamentais de espaço - distância, orientação e conectividade e Sack (1973, 1974), ao delimitar as abordagens da ciência geográfica fundamenta a base da análise espacial.

Segundo Ferreira (2006, p. 106), “a escola espacial, cujos prenúncios já estavam na obra de Schaefer (1953), se contrapõe à escola corológica quanto ao método de abordagem do espaço geográfico”, ou seja, indicando que o geógrafo deve se ater ao arranjo espacial do fenômeno e não no fenômeno em si. Para Ferreira (op. Cit.) este contexto revela que “o estudo do onde – a distribuição espacial dos fenômenos – é o objetivo central da escola espacial”.

Nesse sentido, segundo Sack (1974, apud Ferreira, 2003, p.20), por meio do “pensamento geométrico da Geografia, é possível identificar, separar e avaliar os efeitos das propriedades espaciais como fenômenos independentes e examiná-los à luz da análise espacial”. O rápido desenvolvimento tecnológico viabilizou uma “revolução quantitativa” na Geografia, segundo Christofletti (1999, p. 30) “as origens da análise espacial remontam ao desenvolvimento da quantificação na Geografia e da ciência regional, durante o início da década de 60, quando os estudos procuraram focalizar as características dos padrões espaciais”.

No âmbito da análise espacial, teve grande destaque nesta década o conceito de Matriz Geográfica (Figura 2.1) proposto por Berry (1964), a qual tratava de representações de fenômenos geográficos na forma de matriz x/y, colocando variáveis nas linhas (Row i) e as unidades territoriais nas colunas (Collumn i).

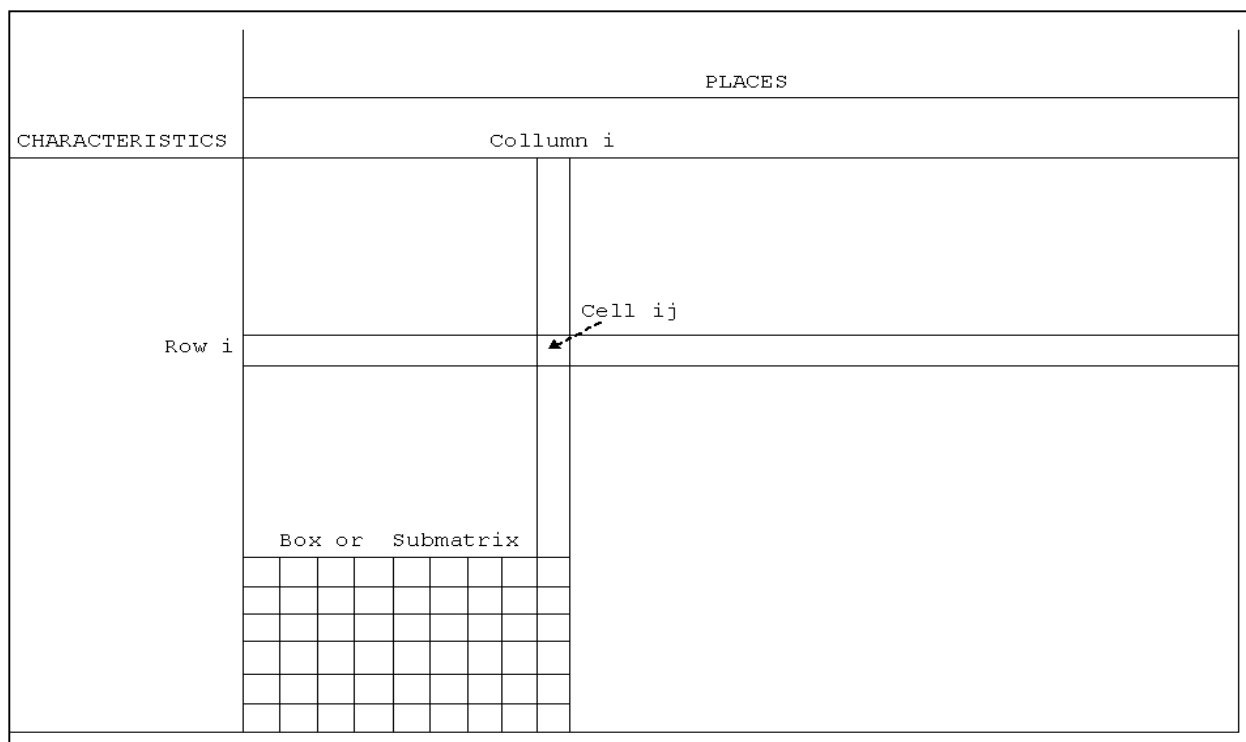


Figura 2.1. Matriz geográfica proposta por Berry.
Fonte: Berry (1964, p. 6).

A organização dessa matriz exigia a classificação taxonômica (escolha e apresentação de variáveis) e uma resolução espacial (recorte da área geográfica), sendo que a leitura de uma linha na matriz representava a distribuição espacial de determinado tema, ou um mapa. A leitura de uma coluna representava uma unidade territorial e as variáveis ocorrentes nessa unidade.

Assim, de acordo com Berry (op. Cit.) uma linha dessa matriz representa a variação de algum atributo de um lugar para outro (uma unidade geográfica para outra), ou seja, a linha representa um padrão espacial, passível de ser mapeado, de uma variável qualquer de interesse. Já cada coluna da matriz geográfica contém, por sua vez, um inventário de atributos diferentes relativos a um único lugar (a uma única unidade geográfica). Por conseguinte, cada célula (cruzamento de uma linha com uma coluna) contém um “fato geográfico”, podendo ser considerado como um valor assumido por um atributo em uma unidade geográfica.

Pensando numa matriz tridimensional (x/y/z), o terceiro eixo (z) poderia representar as informações sobre razões ao longo do eixo, sendo possível associar a variável de temporalidade nas análises espaciais, ou seja, cada “fatia” da matriz, composta de linhas e colunas, é uma espécie de instantâneo ao longo do curso do tempo. Assim, o conceito dessa matriz excedeu em parte o

significado matemático de matriz, uma vez que abordava um modelo analítico concebido para o entendimento e a leitura de um espaço geográfico multivariado e multitemático (Ferreira, 2006).

Para Sui (1995) a matriz proposta por Berry (op. Cit.) possui um papel duplo, ou seja, pode ser uma representação abstrata do fenômeno geográfico ou como uma síntese de abordagens geográficas. Sui destaca ainda aplicação como um modelo integrativo do teórico e do prático na Geografia. Segundo Buzai et al. (1997, p. 285) a matriz geográfica:

[...] permitieron conceptualizar la dicotomía entre estudios “idiográficos” y “nometéticos” como simples cambios de escala de trabajo, dependiendo si el análisis era realizado privilegiando un sentido horizontal o vertical, e incluso realizar estudios temporales a través de una dimensión de profundidad. Com las técnicas de tratamiento gráfico y particularmente com el desarrollo de un formato raster de representación espacial, las coordenadas fila-columna de cada medición realizada tuvieron la posibilidad de representar de forma directa categorías en espacios discretos de coordenadas x-y o geográficas sobre la superficie terrestre. El desarrollo de la Geotecnología há permitido brindar una mayor dinámica operativa a estos conceptos a partir de lograr relaciones entre la cartografía y bases de datos computacionales alfanuméricas en sistemas vectoriales y raster posibles de ser manipulados para cualquier eventual transformación. En síntesis, el concepto inicial se há ampliado y las metodologías de trabajo redefinido en el camino de una integración teórico-metodológica dentro de perspectivas que permitan actuar concretamente sobre la realidad geográfica que nos rodea.²

Esse arcabouço teórico-metodológico gerou os conceitos de sítio e situação, os quais, conforme Ferreira (2006), possuem significados relevantes para a análise espacial e as operações de modelagem de mapas realizadas nos atuais SIG.

O conceito de sítio é vertical e se refere às características locais descritas por atributos corológicos. Ele tem significado semelhante ao termo *substância*,

² Permite contextualizar a dicotomía entre estudos “ideográficos” e “nometéticos” com a simples mudança de escala de trabalho, dependendo se a análise é realizada privilegiando o sentido horizontal ou vertical, incluindo ainda a realização de estudos temporais por meio da dimensão de profundidade. Com as técnicas de tratamento digital, em particular com o desenvolvimento do formato raster da representação espacial, as coordenadas linha/columna de cada medição realizada criam a possibilidade de representar de forma direta as categorias em espaços discretos de coordenadas geográficas x/y sobre a superfície terrestre. O desenvolvimento da Geotecnologia tem permitido alcançar uma maior dinâmica operacional entre os conceitos a partir da relação entre a cartografia e as bases de dados computacionais alfanuméricas em sistemas vetoriais e raster, possibilitando sua manipulação para qualquer eventual transformação. Sinteticamente, o conceito inicial tem sido ampliado e as metodologias de trabalho redefinem o caminho de uma integração teórico-metodológica dentro de perspectivas que permitam atuar concretamente sobre a realidade geográfica que nos cerca.

proposto posteriormente por Sack (1974) e coerente à noção de área geográfica, primeiramente estabelecida por Hartshorne (1939). A idéia de sítio tem importância menor na análise espacial devido à forte conotação corológica e prospectiva de *lugar*. Embora possa um sítio ser analisado comparativamente a outros sítios com base na diferenciação areal, em tese a abordagem corológica não se atém a arranjos de objetos ou a seus padrões geométricos no espaço”. “A situação, em oposição à noção de sítio, é horizontal e está associada a propriedades de “interdependência regional, conexões entre lugares e interação espacial (Berry, 1964). Situação é um conceito espacial pleno, geométrico, uma vez que permite conhecer um sítio a partir da horizontalidade em relação à sua vizinhança, tendo como base propriedades como distância e contiguidade em relação a outros sítios. A situação nos parece, portanto, ser o conceito principal da análise espacial e razão primordial para que algum dia alguém tenha pensado na concepção de um SIG (Ferreira, 2006, p.108;109).

Segundo Matias (2003, p.12) “o papel hoje desempenhado pelo SIG, embora de um modo mais complexo, dá continuidade àquele representado desde os primórdios pelo conhecimento cartográfico. Sendo assim, deve-se conhecer tão bem este como aquele”. Atualmente vislumbra-se a elevada massificação do uso de SIG sendo aplicado nos mais distintos setores da sociedade, como destaca Matias (2004, p. 10):

O uso dessas tecnologias instaura-se nas últimas décadas como um importante instrumento de aquisição, produção de análises e representação de informações sobre o espaço geográfico. Reúne para isso os conhecimentos e as práticas tecnológicas oriundas de diversas áreas do conhecimento científico, característica manifesta das tecnologias modernas, representando uma síntese do poder de manipulação de dados disponibilizado pelo meio computacional. Em um mesmo ambiente de trabalho, diga-se de passagem, cada vez menos sofisticado e mais acessível, tanto em termos financeiros como tecnológicos, permite tratar dados provenientes de fontes diversas [...], com escala de abrangência que vai do local ao global.

Neste sentido, faz-se necessário entender o processo de obtenção dos dados geográficos, os quais serão processados em ambiente de SIG. O'Brien (1992) destaca que a pesquisa geográfica é fortemente baseada na obtenção, análise e interpretação de dados, sendo estes oriundos de diversas fontes, principalmente por meio de levantamentos (dados de campo, questionários, publicações e sensoriamento remoto), análises (processamento computacional e de laboratório) e sumarização

(dados estatísticos). Este mesmo autor (op. Cit., p. 2) destaca que os dados geográficos podem ser categorizados em cinco classes distintas: 1) Dados primários e secundários; 2) Dados de um “corte” temporal e de séries temporais; 3) Dados quantitativos e qualitativos; 4) Dados espaciais e não-espaciais; e 5) Dados categóricos e contínuos.

Neste contexto, insere-se os dados de uso e cobertura da terra advindos do sensoriamento remoto, os quais possuem conceitos similares, podendo se confundir em alguns casos, mas não equivalentes. Dentre as várias definições existentes, geralmente associadas às atividades conduzidas pelo homem relacionadas a uma extensão de terra ou a um ecossistema, foi considerado com uma série de operações desenvolvidas, com a intenção de obter produtos e benefícios, pelo uso dos recursos da terra (Bie et al., 1996), ou seja, a atividade do homem na terra, que se acha diretamente relacionada com a terra (Anderson et al., 1979). De acordo com Turner et al. (1995), a “cobertura” compreende a caracterização do estado físico, químico e biológico da superfície terrestre, por exemplo: floresta, gramínea, água ou área construída. Já o termo “uso” refere-se aos propósitos humanos associados àquela cobertura, por exemplo: pecuária, recreação, conservação, área residencial, por exemplo. Assim, a expressão “uso da terra” pode ser compreendida, portanto, como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem, sendo de importância significativa para fins de planejamento e administração. O termo cobertura pode ser entendido como o revestimento do solo, seja ele florestal, agrícola, residencial ou industrial. Dessa forma, a cobertura pode ser tanto natural quanto antrópica.

Meyer e Turner (1994) destacam que uma única classe de cobertura pode suportar múltiplos usos (áreas de floresta com extração madeireira, preservação de espécies ou recreação), ao mesmo tempo que um único sistema de uso pode incluir diversas coberturas (sistemas agropecuários com áreas cultivadas, pastagem melhoradas, áreas de reserva e áreas construídas). Mudanças no uso da terra normalmente acarretam mudanças na cobertura da terra, mas podem ocorrer modificações na cobertura sem que isto signifique alterações no seu uso.

As questões inerentes às mudanças nos padrões de uso e cobertura da terra têm despertado interesses variados, dentro e fora do meio técnico-científico, devido ao acelerado processo de mudanças climáticas das últimas décadas (IPCC, 2007) e aos possíveis impactos ambientais e sócio-econômicos dessas mudanças. A compreensão desses impactos consiste na principal discussão e desafio para os técnicos, pesquisadores e tomadores de decisão com relação à implementação e o gerenciamento do desenvolvimento sócio-econômico sustentável.

Os impactos de atividades antrópicas em diferentes paisagens e a sua relação com as mudanças climáticas têm motivado o estabelecimento de inúmeros grupos internacionais de estudo nessa temática, onde se destacam o IGBP (*International Geo-sphere and Biosphere Program*) e o IHDP (*International Human Dimension Program*) que desenvolvem atividades de estudo para LUCC (*Land Use and Cover Change*). Os dados gerados pelo LUCC servem de suporte para análise das causas e consequências da alteração do uso e cobertura da terra, tornando-se subsídio imprescindível para análise espaço-temporal dos fenômenos geográficos e a compreensão do funcionamento dos elementos constituintes da paisagem, em nível multi-escalar (Lambin et al., 1999).

Em escala global, são questões de interesse o inter-relacionamento entre os padrões de uso e cobertura da terra e o aquecimento global, a diminuição na camada de ozônio e o aumento do nível médio do mar (resultante do processo de aquecimento global). Por outro lado, são preocupações, ao nível global, os processos de desertificação, a perda da biodiversidade e a destruição de habitats. No âmbito sócio-econômico, as questões de interesse são a: disponibilidade de alimentos e de água para a crescente população mundial, as migrações humanas e as questões de segurança humana frente a alterações/acidentes causadas por fenômenos naturais ou mudanças tecnológicas.

Regionalmente, as questões ambientais relacionadas a mudanças do uso e cobertura da terra são a poluição do ar e da água, degradação dos solos, eutroficação de corpos d'água, assim como a diminuição da biodiversidade. Localmente, destacam-se os problemas como a erosão, sedimentação e contaminação dos corpos d'água e a extinção de espécies animais e vegetais. Em termos sócio-econômicos, as mudanças de uso e cobertura da terra afetam as estruturas de produtividade agropecuária, emprego e qualidade de vida. Já nos centros urbanos, a preocupação é crescente quanto a expansão dos subúrbios nas periferias, provocando a diminuição de vegetação natural e de áreas agrícolas no entorno das urbanizações e o consequente decréscimo da qualidade de vida.

Ressalta-se aqui, que embora os aspectos relacionados aos impactos negativos sejam aqueles que motivem o interesse pelo entendimento dos processos de mudança no uso e cobertura da terra, nem sempre as mudanças são negativas, especialmente se consideradas a escala temporal e espacial de observação do evento e suas consequências, e a possibilidade de adoção de medidas mitigadoras (Briassoulis, 1999). Atualmente, as questões mais relevantes no meio técnico-científico são aquelas relacionadas ao desenvolvimento sustentável e a relação entre aspectos sociais, econômicos e ambientais envolvidas. Portanto, a partir dessas preocupações, diversas iniciativas têm ocorrido no intuito de: (a) compreender os processos de mudanças de uso e

cobertura da terra e seus fatores condicionantes; (b) diagnosticar regiões com maior dinâmica de mudanças, modelando e localizando áreas com impacto elevado a curto, médio e longo prazos e (c) analisar os impactos gerados por essas mudanças. Este processo de mudança de uso e cobertura da terra e seus impactos têm sido estudados e analisados por inúmeras áreas do conhecimento (geografia, história, economia, biologia, sociologia), em diferentes escalas (local, regional e global), porém, na maioria dos estudos são realizados de forma não integrada.

Uma das formas de complementaridade de tais estudos é traduzida claramente nos focos de atuação do Projeto LUCC (Lambin et al., 1999), o qual propõe dentre outras diretrizes, a condução de pesquisas com suas atividades com objetivos específicos, porém interligados. A adoção dessa estratégia reflete o entendimento de que apenas com a compreensão integrada dos processos envolvendo a dinâmica de mudança do uso e cobertura da terra e dos fatores sócio-econômicos e ambientais que afetam tais processos, possibilitará o desenvolvimento de sistemas produtivos capazes de atender as premissas do desenvolvimento sustentável.

No Brasil, a preocupação se volta ao processo de uso e ocupação da Amazônia Legal, na qual cerca de 14% das áreas de floresta já haviam sido desmatadas até 2007 (INPE, 2007), e todos os impactos ambientais e sócio-econômicos decorrentes deste processo. Diversos estudos relacionados a esta questão têm sido realizados, tanto em termos de entendimento dos processos produtivos existentes (Becker, 2001a; 2006), como de diagnósticos (IBGE; INPE, 2007) e de previsão de cenários futuros (Laurance et al., 2001; Nobre et al., 2007). Na categoria de previsões, destacam-se os modelos de Laurance et al. (2001), cujos resultados alarmistas foram alvos de inúmeras reportagens no Brasil e no exterior. Neste estudo, considerando um cenário “otimista”, prevê que 25% da floresta estará desflorestada em 2020, enquanto que o modelo “pessimista” prevê 42% no mesmo período.

Apesar da similaridade quanto às elevadas taxas de desflorestamento e uma intensa dinâmica do uso e cobertura das terras, as diferentes regiões da Amazônia apresentam características distintas em seus históricos e evolução da ocupação (Godfrey e Browder, 1996; Becker, 1997; 1998). Becker (2001a) ressalta que alguns modelos são apocalípticos e apresentam falhas em sua elaboração, baseada em uma concepção linear de processos passados, sem considerar possíveis alterações nesta trajetória devido a mudanças sócio-políticas e tecnológicas já em curso. Portanto, inúmeros modelos não consideram toda a diversidade da região e a organização da sociedade civil. Dessa forma, tais considerações reforçam a necessidade do entendimento dos processos de uso e ocupação da terra, assim como, nos diferentes sistemas de produção vigentes na região amazônica.

2.2. Histórico do Uso e Cobertura das Terras na Amazônia Brasileira

2.2.1. Aspectos Gerais

Nesta seção, é apresentado um panorama geral do histórico do uso e cobertura das terras e as principais políticas territoriais que originaram a organização espacial atual da Amazônia Legal Brasileira, sendo descritos os principais sistemas de produção vigentes para melhor compreender a diversidade de configurações espaciais da região e o mosaico de paisagens existente. O objetivo é apresentar uma visão ampla sobre o assunto, uma vez que existem trabalhos que tratam com maior detalhe desta temática (Kitamura, 1994; 1995; Becker, 1997; 1998; 2000; 2001a; 2006; Alves, 2001; Porto-Gonçalves, 2001; Mello, 2004; Batistella e Moran, 2005; Homma, 2006; Almeida, 2009). O que se pretende aqui é realizar um exercício de entendimento evolutivo sobre os modelos de sistemas produtivos e sobre as tendências futuras do desenvolvimento sustentável, para situar melhor a discussão sobre potenciais serviços ambientais dos sistemas agroflorestais, alvo desta pesquisa.

Esta região, devido à sua extensão territorial, é composta por um mosaico de paisagens, definido pela heterogeneidade tanto dos ecossistemas existentes, como da ocupação e o desenvolvimento local. O espaço Amazônico pode ser visto como um espaço segmentado e organizado de acordo com usos e agentes predominantes de ocupação, assumindo diferentes identidades sócio-econômicas e institucionais (Godfrey e Browder, 1996).

Dessa forma, este universo amazônico está distante de uma imagem uniforme como caracterizada por muitos. Constituindo-se como uma região altamente pluralizada, a Amazônia é, sobretudo, região da diversidade de vegetação e de povos.

Há várias Amazônias na Amazônia; há Amazônia dos rios de águas brancas e de águas pretas; há Amazônia dos cerrados, dos manguezais e das florestas; [...] Assim como há Amazônia dos índios, caboclos e seringueiros (Porto-Gonçalves, 2001, p. 9).

As discussões sobre a região amazônica congregam inúmeras abordagens, desde aqueles que buscam sua preservação total até os maravilhados com a riqueza imensurável de sua biodiversidade, perpassando pelas inúmeras subjetividades existentes nas relações entre a sociedade e o meio ambiente. Com menor frequência, se abordam aspectos relacionados com aqueles que vivem na floresta, ou seja, do “outro”, como destacam Whitaker e Fiamengue (2002, p. 20): “populações tradicionais (camponeses, índios, silvícolas, por exemplo) exploradas pelo sistema econômico, com

suas perversas articulações”. Mesmo havendo esse processo peculiar de ocupação, a Amazônia ainda é apresentada como uma região homogênea e vazia, como destaca Ab’Saber (1996):

Espaços sem gente e sem história, passível de qualquer manipulação por meio dos planejamentos feitos à distância, ou sujeito a obras faraônicas, vinculadas a um muito falso conceito de desenvolvimento (Ab’Saber, 1996, p. 84).

Assim, a abordagem da região amazônica no contexto de uso e cobertura, torna-se relevante no subsídio aos processos de tomada de decisão para o planejamento regional, evitando assim, simplificações, generalizações e considerando as especificidades locais dessa região.

A extensão da Bacia Amazônica é de aproximadamente 7,5 milhões de km², distribuídos em seis países (Brasil, Guianas, Equador, Bolívia, Colômbia e Venezuela), sendo que aproximadamente cinco milhões estariam cobertos por floresta tropical úmida, correspondendo a aproximadamente 31% das florestas do planeta (IBGE, 2007). A denominada Amazônia Legal Brasileira envolve os estados da macro-região Norte (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima, Rondônia e Tocantins), o Mato Grosso e parte do Maranhão (porção a oeste do meridiano 44°), perfazendo, aproximadamente 5 milhões de km², entorno de 61% do território brasileiro (IBGE, 2000). Originalmente, a denominada Amazônia Legal é recoberta por diferentes tipos de fisionomias florestais (e.g., floresta ombrófila densa, floresta estacional, entre outras), campos e cerrados, sendo considerada como a região de maior biodiversidade e reservas minerais e de água doce da Terra.

A população da Amazônia Legal gira em torno de 20 milhões de habitantes, dos quais 61% vivem em núcleos urbanos. Ressalta-se que os núcleos urbanos dessa região têm apresentado um crescimento superior comparado com demais regiões do país a partir dos anos 70, não apenas nas maiores cidades, mas também nas cidades com população inferior a 100.000 habitantes (Becker, 2001a). Na composição social da região inserem-se os caboclos, índios, agricultores familiares extrativistas, trabalhadores urbanos, pequenos, médios e grandes produtores rurais, empresários tradicionais e modernos, compondo uma sociedade complexa e com interesses muitas vezes conflituosos. Vários autores têm descrito o sistema de conversão de uso e cobertura da terra na Amazônia como um processo dinâmico (Coy, 1987; Walker et al., 1997; Pedlowski e Dale, 1992; Becker, 2001a) causados por inúmeros fatores, dentre eles as questões sócio-econômica, físicas e culturais, que determinam as diferentes tipologias de uso e cobertura, resultando em padrões espaciais e temporais diferenciados.

A migração dos atores sociais nas últimas décadas baseou-se principalmente no incentivo dos projetos de assentamento e também de forma espontânea, compondo assim a diversidade econômica e social da região. Atualmente, o fluxo migratório advindo de outras regiões aparentemente diminuiu em relação às décadas anteriores, estando restritas principalmente as migrações intra-regionais (Becker, 2000). Ressalta-se ainda que, apesar de toda a riqueza natural da região Amazônica, os indicadores sociais são baixos em relação às médias nacionais (Théry, 1998), tanto na área rural, quanto nas áreas urbanas, ocasionadas principalmente pela carência de serviços de saúde e educação (Becker, 2001a).

A ocupação da Amazônia até a década de 50 era limitada à região litorânea e às faixas de terras ribeirinhas dos principais rios navegáveis. Os diversos ciclos de exploração econômica baseados em atividades extrativistas (borracha e castanha, por exemplo), pouco alteraram este quadro (Costa, 1997). Entre 1920 e 1930, tiveram início as frentes pioneiras espontâneas oriundas do Nordeste (Escada, 1999). Estas ondas migratórias se intensificaram a partir de 1950, após as primeiras medidas do Estado para a ocupação da Amazônia, a criação da SPVEA – Superintendência de Valorização Econômica da Amazônia em 1953 - e a construção das rodovias Belém-Brasília e Brasília-Acre. Entre 1950 e 1960 a população passou de 1 para 5 milhões (Becker, 2001a). Dessa forma, até a década de 60, houve poucas alterações na região, sendo caracterizada principalmente pelas atividades de subsistência, um fraco comércio intra-regional ribeirinho, atividades exportadoras em Belém e Manaus, alguma pecuária no vale amazônico e em Marajó, agricultura de várzea e na Zona Bragantina, no Pará (Escada, 1999).

A partir da década de 60, são observadas as maiores mudanças, principalmente a partir de 1965, durante o governo militar, quando destacam-se fatores como a tensão social causada por expulsão de pequenos produtores no Sul e Sudeste, a possibilidade de estabelecimento de focos revolucionários na região e a soberania nacional sobre o território e seus recursos naturais, ocorrendo intervenções governamentais objetivando o planejamento regional efetivo da região. Em 1966 é criada a Zona Franca de Manaus, um enclave industrial em meio à economia extrativista. Neste mesmo ano o antigo Banco de Crédito da Borracha é transformado em BASA (Banco da Amazônia). Em 1967, a SPVEA (Superintendência de Valorização Econômica da Amazônia) é transformada em SUDAM (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia).

A partir da década de 70 a ocupação da região Amazônica tornou-se prioridade nacional, quando o governo federal passou a viabilizar e subsidiar a ocupação de terras para expansão

pioneira. As políticas de ocupação procuravam conciliar os empreendimentos de exploração econômica com estratégias geopolíticas (Costa, 1997). Porém, o projeto geopolítico desta fase se apoiou, principalmente, em estratégias territoriais que implementaram a ocupação do território (Becker, 2001b) que podem ser resumidas em três linhas de ação:

1) Implantação de redes de integração espacial: tratam-se de todos os tipos de rede, destacando-se quatro no investimento público. Primeiro a rede rodoviária, ampliada com a implementação de grandes eixos transversais como a Transamazônica e Perimetral Norte, e intra-regionais como a Cuiabá-Santarém e a Porto Velho - Manaus); a rede de telecomunicações comandada por satélite, que difunde os valores modernos pela TV e estreita os contatos por uma rede telefônica muito eficiente. Cerca de 12.000Km de estradas foram construídos em menos de cinco anos, e um sistema de comunicação em microondas de 5.110Km em menos de três anos. Terceiro, a rede urbana, sede das redes de instituições estatais e organizações privadas. Finalmente, a rede hidroelétrica, que se implementou para fornecer energia, o insumo básico à nova fase industrial. **2) Subsídios ao fluxo de capital e indução dos fluxos migratórios:** a partir de 1968, mecanismos fiscais e creditícios subsidiaram o fluxo de capital do Sudeste e do exterior para a região, através de bancos oficiais, particularmente o Banco da Amazônia S. A. (BASA). Por outro lado, induziu-se a migração através de múltiplos mecanismos, inclusive projetos de colonização, visando o povoamento e à formação de um mercado de mão de obra local. **3) Superposição de territórios federais sobre estaduais:** a manipulação do território pela apropriação de terras foi um elemento fundamental da estratégia do governo federal, que criou por decreto territórios sobre os quais exercia jurisdição absoluta e/ou direito de propriedade. O primeiro grande território criado foi a Amazônia Legal, superposta à região Norte. Em 1966, a SUDAM demarcou os limites de atuação governamental, somando, aos 3.500.000Km² da região Norte, 1.400.000Km², e assim constituindo a Amazônia Legal. Em seguida, em 1970-1971, o governo determinou que uma faixa de 100km de ambos os lados de toda a estrada federal pertencia à esfera pública, segundo a justificativa de sua distribuição para camponeses em projeto de colonização. Só para o estado do Pará, isto significou a perda de 83.000.000ha (66,5% desse Estado) para as mãos federais. Através dessa estratégia, o governo federal passou a controlar a distribuição de terras, adquirindo grande poder de barganha (Becker, 2001b, p. 138).

O plano governamental principal deste período foi o I PND (Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), o qual teve como foco as políticas territoriais baseadas em

estratégias de integração nacional. Além da construção das rodovias, que compunham a estrutura básica de circulação dentro do PIN (Projeto de Integração Nacional), houve a colonização oficial, através do INCRA, para faixas de até 100km de largura ao longo das estradas, visando o assentamento de pequenos produtores apoiados pelo governo. Uma mudança de direção relevante aconteceu a partir de 1974 (pós-crise do petróleo), quando uma estratégia seletiva foi implantada: o Poloamazônia. Quinze polos de desenvolvimento canalizaram os investimentos, cada polo especializado em determinadas atividades de produção. O governo considerou que a colonização ainda estava lenta, e estimulou o fluxo de imigrantes dotados de maior poder econômico, resultando na expansão de empresas agropecuárias e de mineração (Becker, 2001a). Com o lançamento do II PND, passando o atendimento de colonos migrantes para os grandes fazendeiros, passou-se a defender nas terras fronteiriças uma agricultura capitalista em detrimento da agricultura familiar (Kitamura, 1994). Dessa forma, deixou-se de lado uma política de ocupação do tipo extensiva e abrangente para a região, concentrando-se os recursos em grandes empreendimentos estatais e privados, que tinham maior probabilidade de retorno em curto prazo, privilegiando as áreas que já apresentavam alguma concentração econômica e populacional (Costa, 1997).

Assim, entre as décadas de 60 e 70 o discurso nacionalista “Integrar para não entregar”, e a promessa de “terra sem homens para homens sem terra” (Porto-Gonçalves, 2001), representaram um novo modelo de ocupação na Amazônia, focados em criar novos pólos de desenvolvimento por meio de grandes projetos econômicos (madeireiros, mineradores, hidrelétricos e agropecuários) desordenados e sem observar aspectos sociais e ambientais. Esse modelo se esgotou a partir de 1976, com o agravamento da segunda crise do petróleo e a súbita elevação nos juros no mercado internacional, levando à escalada da dívida externa e a diminuição dos recursos para esses empreendimentos.

Na década de 80, foi inaugurada uma nova forma de ocupação da Amazônia, conjugando esforços voltados à mineração, agroindústria e à reforma agrária, sendo colocada a mineração como o centro do desenvolvimento regional (Kitamura, 1994). O planejamento passou a concentrar-se em áreas selecionadas, valorizando a mineração e a presença militar, exemplifica-se pelo Projeto Grande Carajás (1980) e o Projeto Calha Norte (1985). O ano de 1985 marca o fim do nacional-desenvolvimentismo e da intervenção do Estado na economia do Território.

Após este período, a ocupação passa a se reger fundamentalmente pela lógica de mercado, abrindo-se um vácuo no processo de desenvolvimento regional (Moura et al., 2001). Dentre as

causas destas mudanças destaca-se a necessidade de gerar divisas e a frustração com os projetos agropecuários e de colonização (Escada, 1999).

A partir dos anos 90, inicia-se a expansão da agricultura capitalizada na região (principalmente a soja, seguida do arroz e do milho), questão que tem causado preocupação em alguns setores de pesquisa e desenvolvimento, pois, embora introduzida inicialmente nas áreas de cerrado, a cultura começa a expandir-se em áreas de floresta. Esse modelo, iniciado com o cultivo de soja na região, promete mudanças nos modelos de ocupação da Amazônia e na economia regional, com previsão de abertura de corredores multimodais, integrando hidrovias, ferrovias e rodovias (Carvalho, 1999). Outra atividade altamente capitalizada iniciada na região é o narcotráfico. Destaca-se ainda a expansão da denominada “mineração de madeira”, exploração seletiva e predatória de espécies valorizadas, com grande importância econômica para a região (Becker, 2000). Em 1996, o governo retoma o planejamento regional através do Programa Brasil em Ação, que foi implementado através do Programa Avança Brasil o qual incentivou a implantação de mais hidrelétricas e a abertura de estradas para escoamento da produção (Ab’Saber, 1996) por meio de corredores multimodais de exportação.

Mello (2004) enfatiza que no embate do jogo de idéias, de forças políticas para a escolha de modelo(s) para o desenvolvimento da Amazônia, essa região se torna, espaço de tensões e conflitos entre aqueles que vêem como um dos lugares-chave das “mudanças globais” e, entre outros, que a entendem como uma das últimas fronteiras de expansão econômica e territorial.

Desde meados da década de 1990, este território, em permanente construção, tem sido o lugar onde proliferam experiências voltadas para a sustentabilidade, com o aumento da governança, reconhecimento de novas territorialidades, gestão ambiental, conservação da biodiversidade e recursos genéticos, negociações de conflitos. Mas, ao mesmo tempo, lá continuam sendo implementados numerosos programas de investimentos que criam condições de rápidas transformações (Mello, 2004, p. 90).

Assim, este choque de idéias reflete as condições da globalização, simultaneamente econômica e ambiental na Amazônia, onde os diferentes grupos sociais não foram alterados e os benefícios da exploração dos recursos naturais não foram socializados.

Por outro lado, começaram a surgir iniciativas endógenas de desenvolvimento sustentável, que privilegiam a população local, o conhecimento e a conservação da floresta. Estas iniciativas

tomaram força com a implantação dos projetos do PPG7³, que passou a ser operacionalizado a partir de 1994. Cabe também notar que entre 1995 e 1998, o governo reconheceu 58 Reservas Indígenas e demarcou 115. As Unidades de Conservação se multiplicaram na região, sendo, que até o final da década de 90, as Terras Indígenas e as Unidades de Conservação correspondiam, respectivamente a 22% e 6% do território amazônico (Becker, 2001a). Mello (2004) enfatiza que é vital continuar buscando apoio e estímulo à continuidade das experiências alternativas.

O novo modelo, baseado em princípios de sustentabilidade, tem que se articular regionalmente. A mobilização social é requisito fundamental, assim como comprometer-se com a consolidação do capital social existente, a cooperação e confiança na participação dos beneficiários em sua própria gestão, potencializando-se o uso da riqueza ambiental e cultural, fortalecendo a institucionalidade pública e privada, se transformando assim, em mecanismo qualitativo de inserção mundial (Mello, 2004, p.89).

2.2.2. Padrão Espacial de Uso e Cobertura da Terra

Desde a década de 70 têm sido realizados levantamentos para se avaliar o processo de uso e ocupação humana na Amazônia baseados em sensoriamento remoto. O INPE iniciou o primeiro levantamento das áreas desflorestadas no período de 1973 a 1978 e desde 1988, vem produzindo estimativas anuais das taxas de desflorestamento da Amazônia Legal por meio do projeto PRODES⁴ (INPE, 2008).

Como resultado desses estudos, tem sido possível estimar a extensão e taxas de desflorestamento da Amazônia Legal diferenciando inclusive por Estado, subsidiando inúmeros outros estudos relacionados ao desflorestamento e sua correlação com núcleos urbanos com infraestrutura, proximidades de áreas pioneiras de desflorestamento e das principais estradas e rodovias. A Amazônia Legal, com mais de 710.000km² de áreas desflorestadas ao longo de seus nove estados até 2007 (INPE, 2007), (18% da área total de floresta), apresenta padrões distintos de ocupação agrária, principalmente em função da grande escala de abrangência. A contribuição de pequenos agricultores e de grandes latifundiários mudou continuamente com a economia e pressão demográfica (Fearnside, 2005).

³ Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais Brasileiras.

⁴ Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia/Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite.

A ocupação do território caracteriza-se por um padrão linear, ao longo dos eixos de circulação fluvial e rodoviária, separadas por grandes massas florestais com população dispersa, terras indígenas e unidades de conservação (Becker, 2001a). O alcance do desflorestamento, conforme diagnosticado por Alves et al. (1999), se dá principalmente até cerca de 50km a cada lado da rodovia. Apesar da similaridade quanto às elevadas taxas de desflorestamento e uma intensa dinâmica do uso e cobertura das terras, essas regiões apresentam características distintas em seus históricos e evolução da ocupação (Godfrey e Browder, 1996; Becker, 1997 e 1998). Os levantamentos realizados envolvendo o território da Amazônia Legal, sobre o uso e cobertura das terras e o desflorestamento (INPE, 2007, 2008), apontam para regiões que apresentam uma forte e permanente dinâmica territorial, indicando que tais processos têm se concentrado em algumas áreas, principalmente nos estados do Acre, Rondônia, Maranhão e Mato Grosso e Pará.

Por tanto, embora as regiões de fronteira agrícola estejam situadas sob a forma de uma frente única (“arco do desflorestamento”), inúmeros outros fatores contribuem para as diferenças nos processos de colonização e conversão das áreas de floresta em empreendimentos agropecuários.

Diversos estudos aprofundados foram realizados tentando explicar as causas e fatores condicionantes do desflorestamento na Amazônia brasileira. Dentre eles destacam-se os estudos relacionados a: a) *fatores físicos* - relevo, clima, drenagem, solos e cobertura vegetal, aptidão agrícola (Moran, 1991; Laques, 1993; Dale e O’Neill, 1993; Castilhos et al., 1998; Becker, 2001a) e b) *fatores sócio-econômicos*: acesso a malha viária, distância de núcleos urbanos e rurais, políticas governamentais de incentivos à implantação de projetos agropecuários, disponibilidade de mão-de-obra, pressão populacional, expropriação/expulsão por grandes proprietários, pouca valorização dos produtos da floresta, política e cultura, especulação de terras (Coy, 1987; Pedlowsky e Dale, 1992; Myers, 1993; Lambin, 1997; Castilhos et al., 1998; Burger, 1999; Helmut e Lambin, 2002). Dentre estes fatores, o crescimento econômico e populacional é reconhecido como um dos principais determinantes do processo do desflorestamento (Koop e Tolen, 2001; Helmut e Lambin, 2002).

De modo mais abrangente e, considerando-se as diferentes configurações espaciais e os vários atores no processo de ocupação, pode-se dizer que o complexo padrão histórico de desenvolvimento econômico é a causa do desflorestamento. Caldas (2001) considera que o desmatamento envolve um grande número de atividades humanas, com diferentes consequências, determinantes e agentes, sendo que a análise do desmatamento como uma simples medida dificulta o discernimento entre as várias razões e agentes responsáveis. Nesse sentido Porto-Gonçalves (2001) destaca que:

O zoneamento econômico do espaço amazônico não tem sido feito com base nos seus ecossistemas, nem tampouco na diversidade cultural de suas populações. Ao contrário, a recente integração viária da região ao espaço econômico do centro-sul do país fez com que os parâmetros de valorização passassem a ser o dos preços dos fatores de produção no mercado nacional. Assim, a Amazônia, por ser a região mais afastada dos centros geográficos dinâmicos da acumulação de capital em território nacional, passou a ser a área onde as terras eram as mais baratas, devido à sua distância dos principais mercados. Assim sendo, as atividades que demandassem grandes extensões de terras apareceriam aos olhos daqueles que queriam incorporá-las à dinâmica de acumulação de capital como sendo as mais adequadas para o seu enriquecimento rápido (Porto-Gonçalves, 2001, p.46).

Outro aspecto a ser observado no processo histórico na região é a constatação de que existem diferentes regiões espaço-tempo na Amazônia, com velocidades de transformação distintas, podendo ser identificadas três sub-regiões, conforme quadro 2.1 (Becker, 2000, 2001a).

Quadro 2.1. Regiões da Amazônia diferenciadas em função do espaço-tempo.

Fonte: Adaptado (Becker, 2000, 2001a).

Região da Amazônia	Principais Características
Amazônia Oriental e Meridional	Corresponde ao Arco povoado a leste e sul da floresta, isto é, a região agroindústria mato-grossense com expansão para Tocantins e Rondônia até as áreas desflorestadas do sudoeste do Pará. Configura-se em um grande cinturão da soja e de pastagens implantadas, onde a produção agropecuária domina em relação à conservação.
Amazônia Central	Região que abrange desde o centro do Pará até a futura Porto-Velho Manaus pavimentada, configurando-se em uma vasta zona passível de expansão, em velocidade máxima nos eixos, de atividades valorizadas, como é o caso da agricultura com a soja. Existem ainda um grande número de áreas florestais, UC e terras indígenas, o que torna esta região extremamente vulnerável.
Amazônia Ocidental	Correspondente à margem esquerda dos projetos governamentais. Possui elevada biodiversidade, disponibilidade de água e recursos minerais. Destaca-se ainda pela sócio-diversidade das populações indígenas e tradicionais. Outras características dessa região são: concentração econômica em Manaus; a influência do narcotráfico e de agentes externos de um lado, e de índios e militares de outro; vulnerabilidade da fronteira e relativa ausência de UC e terras indígenas na sua parte central.

Becker (2006) destaca que, como parte das mudanças internas ocorridas na região, em especial a partir dos anos 80, sobrepõe-se às conjunturas políticas e econômicas nacionais, as populações tradicionais, que se tornaram “atores políticos significativos”, a cooperação internacional financeira e tecno-científica de “influência crescente”, além do terceiro setor (Organizações Não Governamentais e Movimentos Sociais, Nacionais e Internacionais) que emerge recentemente dentro deste contexto.

Como mencionado anteriormente, o desflorestamento dessa região mascara uma diversidade de fatores (sócio-econômicos, políticos e físicos), dificultando o entendimento da questão, que não pode ser reduzida apenas aos efeitos da construção de estradas no meio da floresta. Dentre as principais formas de uso e cobertura da terra na região amazônica já mencionadas, destaca-se, para este estudo, a ilustração das diferenças entre os diversos processos associados aos diferentes tipos de uso que causam o desflorestamento: a pecuária, a exploração madeireira, a agricultura de subsistência e a agricultura capitalizada. Assim, busca-se a seguir, descrever de maneira sucinta, os principais sistemas produtivos rurais e suas configurações espaciais condicionados por fatores físicos e antrópicos da paisagem, refletidas pelas atividades econômicas da região e seus atores.

Pecuária: Essa atividade se configura como a mais expressiva em termos de extensão na região, representando 77% da área de floresta, gerando aproximadamente 118 mil empregos permanentes, porém com baixo retorno financeiro por unidade de área (Scheiner et al., 2000). Segundo dados do IBGE (2005), o rebanho é estimado em 74,59 milhões de cabeças (bovinos, bubalinos, muares e suínos) representando aproximadamente 30% do rebanho nacional. Conforme PAS⁵, apenas a pecuária bovina já ocupa 70 milhões de hectares, ou 13,5% da Amazônia Legal. A pecuária extensiva se instalou nessa região impulsionada pelos incentivos governamentais para a criação de boi gordo e aquisição de terras como reserva de valor. Como visto anteriormente, é relevante mencionar que a ocupação a partir dos anos 60 foi caracterizada pelo seguinte ciclo: desflorestamento/extração da madeira/pecuária, (realizado inicialmente por posseiros), que abrem as florestas, incentivados pelas madeiras, seguido pela sua expropriação por parte dos pecuaristas ou empresas agropecuárias. A partir do final da década de 70, as empresas agropecuárias suprimiram a necessidade dos posseiros, contratando mão-de-obra para realizar o processo de conversão de floresta para pastagem. A baixa longevidade da produtividade, associada à baixa fertilidade dos solos da região e às práticas de manejo

⁵ Plano Amazônia Sustentável, criado 2008 pelo Governo Federal brasileiro em parceria com os Governadores dos Estados da região amazônica com objetivo de definir as diretrizes para o desenvolvimento sustentável na Amazônia brasileira.

inadequadas, levam os pecuaristas a abandonar suas áreas originais em busca de outras para a implantação de novas pastagens, em geral, avançando sobre áreas de florestas primárias (Demattê, 1988). A pecuária extensiva utiliza grandes áreas, o que potencializa o processo de conversão de floresta em pastagem (Serrão et al., 1990). As principais áreas de pasto cultivado estão concentradas em áreas onde originalmente existiam cerrados e floresta decídua, formações mais simples de serem desmatadas (Théry, 1998). Até a década de 90 se observou, exceto para algumas regiões mais tradicionais, uma tendência à pecuarização (Veiga et al. 1996), explicada por inúmeros fatores, dentre eles, a valorização da terra com a implantação da pastagem (Pedlowsky e Dale, 1992), a segurança que o gado representava em termos de investimento familiar e a estabilidade do preço da carne no mercado (Veiga et al., 1996). Atualmente, segundo Becker (2000), o ciclo desflorestamento/extração da madeira/pecuária perdeu um pouco a força devido à diminuição da imigração e do menor valor alcançado pelas terras e, portanto, pela pecuária. Por outro lado, o ciclo se reproduz agora em áreas de maior imigração: Mato Grosso, Amazônia Oriental e novos corredores de povoamento.

Exploração madeireira: Como mencionado anteriormente, a maior parcela da atividade madeireira ocorre de forma complementar a agropecuária, através do ciclo desflorestamento/extração da madeira/pecuária, de tal sorte que a fronteira de exploração madeireira acompanha a expansão da fronteira agropecuária. Apesar da aparente diminuição do desflorestamento apontada por estudos do INPE (2005, 2006, 2007), a atividade madeireira mais tecnificada se encontra em plena expansão, especialmente a exploração seletiva e predatória de espécies valorizadas. Nepstad et al. (1999) já destacavam que as áreas de corte seletivo não são consideradas nas estatísticas de desflorestamento e que a exploração seletiva de espécies mais valorizadas tem a mesma consequência que a chegada dos posseiros, empobrecendo a floresta e a tornando mais suscetível ao fogo. Lentini et al. (2005a) relatam que o setor madeireiro (exploração e o processamento industrial de madeira) estão entre as principais atividades econômicas da Amazônia – ao lado da mineração industrial e da agropecuária. Em 2004, o setor extraiu 24,5 milhões de m³ de madeira em tora (aproximadamente 6,2 milhões de árvores). O processamento madeireiro ocorre em 82 polos madeireiros situados principalmente no Pará, Mato Grosso e Rondônia, sendo a madeira destinada tanto ao mercado doméstico (64%), como ao externo (36%), se configurando no segundo maior produtor de madeira tropical do mundo (atrás apenas da Indonésia). Lentini et al. (2005a) destacam ainda que o número de empregos gerados diretamente do setor em 2004 foi de aproximadamente 353 mil empregos, estimando que pelo menos 5% da população economicamente ativa da Amazônia Legal trabalha direta ou indiretamente com a

atividade madeireira. A exploração predatória tem levado à exaustão os polos mais antigos, causando a migração das madeireiras, e ocasionando forte impacto sobre a economia dos municípios. Os polos tradicionais eram Paragominas (Pará), Sinop (Mato Grosso), Vilhena, Ji Paraná e Arquimes (Rondônia). Conforme ainda Lentini et al. (2005b), as empresas de Rondônia estão se deslocando em direção à Bolívia e ao Amazonas, enquanto as do Pará e Mato Grosso estão migrando em direção ao oeste do Pará, sudeste do Amazonas e extremo noroeste do Mato Grosso, em geral, tomando terras devolutas ou explorando de forma ilegal terras indígenas e áreas protegidas. Apesar das crescentes demandas nacional e internacional por madeira certificada, o processo de certificação se instalou timidamente na Amazônia (Becker, 2000), sendo que pouco volume extraído provém de iniciativas que utilizam planos de manejo. Segundo Nepstad et al. (1999), 90% da extração madeireira é realizada ilegalmente.

Agricultura de subsistência: este sistema de produção objetiva atender prioritariamente as necessidades básicas das populações locais com a comercialização de excedentes. A agricultura familiar é uma atividade praticada por pequenos produtores (proprietários ou posseiros) atraídos pela possibilidade da posse da terra ou incentivados por programas de assentamento/colonização do governo desde a década de 60. Estima-se que 650 mil famílias utilizem, em média dois hectares por ano (IBGE, 2007). Os principais cultivos são o arroz, milho, feijão, algodão, café, mandioca, cana, pimenta-do-reino, banana, maracujá, cacau, dendê, melancia, guaraná, juta, malva e citrus. Para aumentar a área arável, os produtores têm utilizado a prática de “derruba e queima”, muitas vezes incentivados pelas madeireiras (Becker, 2001a). Esta prática secular, além de proporcionar a limpeza do solo para o plantio, incorpora os nutrientes necessários para o desenvolvimento das culturas por meio das cinzas e detritos em decomposição. Após a retirada das espécies florestais de maior valor comercial, é procedida a queima da floresta, sendo o cultivo anual realizado durante dois ou três anos, com consequente abandono da terra por vários anos. Invariavelmente, a terra não é realmente abandonada - principalmente quando existe a posse da mesma - mas deixada em pousio, quando a fertilidade diminui. Após este período de pousio, a terra é novamente aproveitada por meio de outros usos, principalmente pecuária e culturas permanentes, sendo ainda comum o processo de expulsão ou apropriação das terras dos pequenos proprietários/posseiros por parte de grandes proprietários rurais ou empresas. Dentro das propriedades (ou “lotes”) também é utilizada esta técnica de “derruba e queima”, sendo que a derrubada é feita gradativamente, de acordo com a necessidade/capacidade do agricultor. Assim, esses agricultores se movem para novas áreas, iniciando novo processo de

desflorestamento, numa agricultura “itinerante”, sendo responsáveis por aproximadamente 35% do desmatamento da região (Caldas, 2001). Entre as razões do baixo sucesso dos cultivos anuais de subsistência, podem ser citadas a pobreza dos solos, falta de assistência técnica, falta de locais apropriados de armazenamento e escoamento da produção excedente. Alguns autores mencionam também o clima inapropriado para agricultura, muito úmido (Escada, 1999; Scheiner et al., 2000).

Agricultura capitalizada: No contexto histórico de ocupação da região amazônica, este sistema de produção é o mais recente, consolidando-se como mais um fator no processo geral de transformação territorial por meio das mudanças ocorridas no uso e ocupação da terra, baseado em incentivos públicos e inovações tecnológicas, financiados pelo capital privado. Segundo IBGE (2007), ao invés de reproduzir, como nas antigas áreas de incorporação agrícola, estruturas produtivas preexistentes, a expansão recente da fronteira agropecuária na Amazônia constitui, antes de qualquer coisa, uma fronteira tecnológica na qual a inovação científica é o elemento central de explicação do novo perfil produtivo do agro regional. Nesse sentido, a distribuição dos cultivos anuais (especialmente a soja, milho, arroz e algodão) na Amazônia, tem sua dinâmica espacial associada, em grande parte, não somente à pesquisa científica, que possibilitou a adaptação de novas espécies vegetais às características do cerrado, como ao uso intensivo de máquinas, equipamentos e insumos, determinantes dos elevados índices de produtividade aí alcançados. A potencialidade para o cultivo de grãos em grande escala se encontra, principalmente, nas áreas de cerrados da Amazônia Legal (incluindo o Mato Grosso, Tocantins e sul do Maranhão) onde predomina o clima tropical invernos secos e topografia plana, que permite a mecanização; ao mesmo tempo, os solos apresentam características que respondem aos insumos empregados no sistema. A principal cultura desse modelo é a soja, que iniciou sua penetração na região pelas áreas de cerrado, onde é uma alternativa econômica viável (Becker, 2000), ocupando atualmente áreas do Pará e Amazonas (IBGE, 2007). A região da Amazônia Legal contribui significativamente para a produção nacional de grãos, onde cultiva segundo o PAS aproximadamente 13 milhões de ha, os quais são responsáveis por 22% da produção nacional. Dessa forma, acumulam-se evidências sinalizadoras de importantes mudanças no uso e cobertura da terra nessa região, muitas das quais associadas à introdução de novas tecnologias, métodos e culturas no campo, cujos efeitos afetam o ambiente natural - via desmatamento, erosão e poluição hídrica, entre outros - assim como recaem sobre a geração de renda, emprego e condições de vida geral de sua população (IBGE, 2007). Destacam-se como fatores limitantes à esse modelo de agricultura: a expansão em áreas de floresta (clima mais úmido), a exigência de topografia plana,

elevada necessidade de insumos, modelo baseando em grande escala, riscos associados às oscilações de preço e às condições do comércio internacional (transgênicos e subsídios).

Orsi (2005), em pesquisa sobre o processo de desflorestamento na região amazônica, após analisar variáveis demográficas relativas à propriedade e variáveis econômicas de produtores assentados, buscou inferir sobre possíveis fatores condicionantes do desflorestamento em propriedades rurais do município de Machadinho d'Oeste (RO). Concluí que dentre diversas variáveis estudadas, a idade do produtor, pessoas na família, tempo de residência, ativos agrícolas, mão-de-obra extra-familiar, assistência técnica, número de proprietários anteriores e nível de riqueza apresentaram associação direta com o padrão de desflorestamento praticado. Já as variáveis inerentes à origem do produtor, área da propriedade, atividade extra-agrícola e acesso a linhas de crédito não apresentaram associação a este desflorestamento.

Como alternativa para os sistemas produtivos mais tradicionais apresentados acima, destaca-se aqueles contrários à ampliação da ocupação do território amazônico, calcados na grande propriedade modernizada ou especulativa, que, como abordados anteriormente, invariavelmente geram situações de conflito e eterna expropriação de pequenos produtores extrativistas e índios de suas terras. Portanto, têm-se por meio dos sistemas que valorizam a floresta em pé (extrativismo vegetal e a agrofloresta, por exemplo), opções calcadas na sabedoria tradicional das comunidades, sistemas que necessitam de mão-de-obra intensiva e na relativa manutenção da vocação florestal da região, mantendo-se ainda como região reguladora de ciclos globais como o da água e do carbono.

Assim, considerando que a Amazônia Legal Brasileira corresponde a quase 50% do território do país, com vasta porção florestal e riquíssima bacia hidrográfica, essa região vem adquirindo um novo significado desde o fim do século XX, dada a velocidade das transformações globais (tecnológicas, políticas e econômicas) das sociedades do mundo atual. Dessa forma, diante deste contexto a Amazônia adquire “uma valorização ecológica de dupla face: a da sobrevivência humana e a do capital natural, sobretudo a megadiversidade e água” (Becker, 2006, p. 33).

Kitamura (1995) já destacava que, para o mundo, a Floresta Amazônica pode ser percebida como reguladora do meio ambiente global (dos ciclos biogeoquímicos e do efeito estufa) e como repositório de biodiversidade. Já para as comunidades locais, essa mesma Floresta pode ser percebida como reguladora do equilíbrio dos ecossistemas em que vivem e como rede de sua subsistência (produtos e serviços para o dia-a-dia). Neste sentido, Nobre et al. (2007, p. 22) ressaltam que:

As influências do homem no equilíbrio natural do planeta atingiram magnitude sem precedentes. As mudanças climáticas antropogênicas estão associadas às atividades humanas com o aumento da emissão de gases de efeito estufa, de queimadas, com o desmatamento, a formação de ilhas urbanas de calor, entre outros. A Amazônia desempenha um papel importante no ciclo de carbono planetário, e pode ser considerada como uma região de grande risco do ponto de vista das influências das mudanças climáticas.

A consciência global na década atual, em relação às questões ambientais e sociais, tem aumentando o interesse pelos denominados “produtos verdes”, e a atribuição de valor à natureza, incluindo os custos da degradação ambiental ao valor dos produtos de determinada atividade. Em conjunto, estes fatores podem aumentar a viabilidade econômica de projetos de uso sustentável. Para a Amazônia, Kitamura e Rodrigues (2000) observam que está sendo criada uma oportunidade relevante de serviços ambientais, onde produtos gerados por processos que não contaminam ou degradem o meio ambiente, sem resíduos de agrotóxicos e ou aditivos seriam utilizados. Nessa ótica, é crescente a inserção dos sistemas produtivos na Amazônia como instrumentos de MDL, que preconizam práticas agroecológicas de valoração do saber cultural e dos serviços ambientais.

Becker (2006) relata que os efeitos regionais da mercantilização da natureza poderão incentivar a implantação de redes de pesquisa e desenvolvimento na Amazônia, em especial voltadas ao desenvolvimento de usos sustentáveis e à biotecnologia, criando alternativas econômicas para a população e o fortalecimento da indústria local, a manutenção de sistemas florestais como sumidouro de carbono (inserindo-se no Protocolo de Kyoto) e a recuperação de áreas degradadas por meio do plantio de florestas. Assim, surge um novo ciclo econômico na Amazônia, baseado no comércio de serviços ambientais, onde a ecologia deixa de ser uma ação filantrópica, humanitária ou de simples preservação ambiental (Homma, 2003).

Atenção especial tem sido voltada as ações do PPG7, o qual iniciou sua segunda fase em 2003 e deverá se estender até 2010. Dentre seus inúmeros objetivos pode citar o estabelecimento de reservas extrativistas, o fortalecimento da produção sustentável e o aprimoramento da produção de conhecimento científico e tecnológico para a Região Amazônica. Almeja-se incrementar as áreas de reservas extrativistas por meio de ações de regularização fundiária, demarcação, sinalização, mobilização comunitária, elaboração de planos de utilização, produção sustentável, saúde e educação e estratégias participativas de

monitoramento sócio-econômico (MMA, 2007). As diretrizes para a produção sustentável visam à geração de renda, o fortalecimento da base de subsistência, o uso múltiplo dos recursos naturais, a conservação dos recursos naturais e a capacitação gerencial de comunidades locais, além do apoio para a implementação de iniciativas inovadoras de manejo florestal em nível empresarial e comunitário.

No contexto da produção de conhecimento científico e tecnológico, destaca-se a viabilização de processos inéditos de negociação entre as diversas esferas do governo, da sociedade civil e do setor privado, visando à construção de consensos (pactos políticos) em prol do desenvolvimento sustentável, ou seja, a criação de uma cultura de negociação de conflitos. Nesse sentido, inserem-se as Agendas Positivas (estadual e regional), que têm o papel de definir ações estratégicas visando à redução dos índices de desmatamento, a sustentabilidade de atividades agropecuárias e a valorização de produtos e serviços ambientais que mantenham a floresta em pé.

Mello (2004) destaca que a inserção da região amazônica no processo de globalização financeiro e econômico se fez aguçando a pobreza e as contradições, onde os diferentes governos não conseguiram reduzir a pobreza e promover condições de cidadania para as populações marginais. Destaca ainda que outros aspectos da globalização acentuam as difíceis condições da população da região e também se fazem presentes induzindo a valorização de seus atributos.

As tendências mundiais de conservação do meio ambiente fortalecem os mecanismos de aproveitamento das oportunidades de valorização da biodiversidade, de prestação de serviços ao ambiente global, de uso e manejo sustentável de seus recursos naturais. O capital social duramente construído e potencialidades humanas permitem vislumbrar alternativas possíveis, apesar do imenso desafio a superar quanto às extremas condições de pobreza, indigência e de enfraquecimento das culturas (Mello, 2004, p.103).

Apresenta-se no quadro 2.2 uma síntese dos sistemas agropecuários vigentes na Amazônia e suas principais características sociais, econômicas, ecológicas, além da abrangência geográfica e sua periodização.

Quadro 2.2. Sistemas agropecuários vigentes na Amazônia e suas principais características.

Sistema de Produção	Características			Área de Abrangência	Periodização
	Sociais	Econômicas	Ecológicas		
Pecuária (bovinocultura extensiva)	Baixa fixação do agricultor à terra Utilização de posseiros com posterior expropriação ou mão-de-obra contratada para a conversão de floresta em pastagem	Baixo retorno financeiro por área Manutenção em função da relativa estabilidade do preço da carne no mercado nacional e internacional	Baseada no processo desflorestamento/ extração da madeira/pecuária Baixa longevidade da produtividade em função da baixa fertilidade dos solos Elevado abandono das áreas, potencializando a dinâmica do processo	Elevada extensão territorial Processo reproduzido atualmente em áreas de maior imigração (Mato Grosso, Amazônia Oriental e novos corredores de povoamento)	Iniciado a partir da década de 60 com os incentivos governamentais Crescimento na década de 90 em função do elevado valor da carne
Exploração Madeireira (Exploração total ou seletiva)	Baixa fixação do agricultor à terra Elevado número de postos de trabalho que acompanham o deslocamento dos polos madeireiros	Ocorre de forma complementar e sintonizada com a expansão agropecuária Em expansão, tecnificada, baseada na exploração seletiva espécies valorizadas Madeira destinada ao mercado interno e externo impactando a economia dos municípios polos	Empobrece o solo e torna os remanescentes mais suscetíveis ao fogo Baixo número de projetos com planos de manejo e certificação florestal Reduz drasticamente a biodiversidade	Elevada extensão territorial Migração dos polos tradicionais para novas fronteiras, principalmente, ilegalmente, em áreas de terras devolutas, indígenas e de áreas protegidas	Iniciado na década de 50, teve sua exaustão nos polos mais antigos: Paragominas (PA), Sinop (Mato Grosso), Vilhena, Ji Paraná e Arquimes (Rondônia) A partir dos anos 90, migração para o sudeste do Amazonas, oeste do Pará e noroeste do Mato Grosso

Quadro 2.2. (continuação).

Sistema de Produção	Características			Área de Abrangência	Periodização
	Sociais	Econômicas	Ecológicas		
Agricultura de Subsistência (arroz, milho, feijão, algodão, café, mandioca, cana, pimenta-do-reino, banana, maracujá, cacau, dendê, melancia, guaraná, juta, malva e citrus)	Elevada fixação do agricultor a terra Perspectivas de posse da terra por posseiros Apropriação de terras de posseiros por parte de grandes proprietários	Atende essencialmente às necessidades básicas das populações locais, com a comercialização de excedentes Elevado número de famílias	Baseado no sistema secular-desmatamento, roçada e queima-incorpora os nutrientes ao solo, tem baixa longevidade (dois ou três anos) Após este ciclo, a terra é abandonada (pousio) retornando em estágio de capoeiras para um novo ciclo	Agricultura “itinerante” com elevada extensão territorial Limitada pelas adversidade edafoclimáticas e de infra-estruturar de apoio ao armazenamento e escoamento dos excedentes	Iniciado na década de 60, atraído pela possibilidade da posse da terra ou por programas de assentamento/colonização do governo federal
Agricultura Capitalizada (soja, milho, arroz e algodão)	Média fixação do agricultor a terra Aquisição de áreas menores por parte de grande produtores Baseada no capital e no conhecimento tecnológico, mas com mão-de-obra mais especializada	Cultivo principalmente da soja em grande escala, objetivando a exportação Perfil produtivo alavancando a fronteira do agronegócio Elevados índices de produtividade, gerando emprego e renda nos municípios	Reduz drasticamente a biodiversidade baseando-se em monoculturas anuais Uso intensivo de máquinas, equipamentos e insumos são determinantes no processo Elevada alteração da paisagem ocasionando desmatamento, erosão e assoreamento	Elevada extensão territorial Historicamente recente no processo de ocupação da região (década de 90), por meio de incentivos públicos e capital privado	Iniciado pela região dos cerrados da Amazônia Legal (Mato Grosso, Tocantins e Maranhão). Expansão para a região de floresta mais densa e com maior umidade (Pará e Amazonas), em função do melhoramento genético e de novas práticas de manejo

Quadro 2.2. (continuação).

Sistema de Produção	Características			Área de Abrangência	Periodização
	Sociais	Econômicas	Ecológicas		
Sistemas Sustentáveis (Extrativismo vegetal e Agrofloresta)	Elevada fixação dos agricultores à terra Produção baseada na sabedoria tradicional das comunidades, com intensiva necessidade de mão-de-obra	Elevado retorno financeiro por área Geração de produção certificada e dentro do contexto de sustentabilidade Valorização da biodiversidade e dos serviços ambientais (floresta em pé)	Relativa manutenção da biodiversidade pela manutenção da vocação florestal Mantêm a região como reguladora de ciclos globais (água e carbono) Potencial para a recuperação de áreas degradadas	Baixa extensão territorial. Distribuída de maneira não uniforme na região, principalmente relacionado a projetos governamentais e/ou ONG's	Iniciada por comunidades locais desde a década de 70 Incentivada a partir dos anos 90, capilarizando-se por todos os estados na região Inúmeras iniciativas atuais relacionadas a empresas e grupos econômicos

2.3. Mudanças Climáticas, Políticas Globais e os Sistemas Produtivos Sustentáveis

O aumento das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera tem gerado inúmeras discussões sobre suas implicações na temperatura média do Planeta. As evidências obtidas por meio de observações de todos os continentes e da maior parte dos oceanos mostram que muitos sistemas naturais estão sendo afetados pelas mudanças climáticas regionais, principalmente pelos aumentos da temperatura (IPCC, 2007).

O efeito estufa pode ser descrito como um processo de manutenção da amplitude térmica global em função do bloqueio da emissão da radiação de ondas longas provenientes da superfície da terra devido ao acúmulo de gases na atmosfera. Ressalta-se que os GEE criam um efeito estufa natural, sem o qual, a temperatura média da Terra seria cerca de 30°C mais baixa, tornando-a inabitável para a vida tal como a conhecemos. Assim, a discussão consiste em saber quais são os gases que contribuem para este efeito, através de mecanismos de realimentação positiva ou negativa. Na Terra, conforme o IPCC (2007), os gases que mais contribuem para o efeito estufa são o vapor d'água, que causa de 36 a 70% do efeito natural (não incluindo nuvens); o dióxido de carbono (CO_2), que causa de 9 a 26%; o metano (CH_4), causando entre 4 e 9%; o ozônio (O_3), que causa entre 3 e 7%. Os demais gases são o óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6).

A avaliação global, a partir de dados obtidos desde 1970, mostrou ser provável que o aquecimento de origem antrópico tenha tido uma influência discernível em muitos sistemas físicos e biológicos. Segundo os dados, a temperatura média da Terra aumentou no último século 0,8°C; sendo que as concentrações atmosféricas de CO_2 e CH_4 aumentaram em 31% e 149%, respectivamente, acima de níveis pré-industriais. O relatório atual do IPCC ressalta que, se as tendências de crescimento das emissões de GEE se mantiverem, os modelos climáticos indicam a possibilidade de ocorrer até 2100, aquecimento acima de 6°C em algumas regiões do globo. É previsto que a temperatura média global durante o século XXI aumente entre 2,0°C a 4,5°C, com uma estimativa melhor de cerca de 3,0°C e muito improvável que essa elevação seja inferior a 1,5°C, onde valores substancialmente mais altos que 4,5°C não podem ser desconsiderados (IPCC, 2007).

O dióxido de carbono é o GEE antrópico mais importante. A concentração atmosférica global deste gás aumentou de cerca de 280 ppm (era pré-industrial), para 379 ppm em 2005. Esse relatório também destaca que a concentração atmosférica de CO_2 em 2005 ultrapassou a faixa

natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm) como determinado a partir evidências geológicas menos diretas (testemunhos de gelo das calotas polares). Relata-se ainda que a principal fonte de elevação da concentração de CO₂ na atmosfera desde o período pré-industrial se deve ao uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural), sendo que a mudança no uso e cobertura da terra contribuiu com uma parcela significativa, porém menor. Estima-se que as emissões fósseis na década de 90 foram de 23,5Gt.CO₂ por anos, já as emissões relacionadas com a mudança no uso e cobertura da terra (especialmente o desmatamento) foram de 5,9 Gt. CO₂ por ano nesta década. Para níveis futuros de CO₂, esse relatório prevê que a taxa de aumento irá depender de fatores econômicos, sociológicos, tecnológicos e naturais incertos, mas está limitada, em última análise, pela disponibilidade total de combustíveis fósseis, sendo elaborados diversos cenários futuros possíveis (que variam entre 541 e 970 ppm até 2100). Neste sentido, Nobre et al. (2007, p. 25) ressaltam que:

A partir do Relatório da Quarta Avaliação do IPCC (2007), há maior certeza nas projeções dos padrões de aquecimento e de outras características de escala regional, inclusive das mudanças nos padrões do vento, precipitação e alguns aspectos dos eventos extremos e do gelo. A associação entre eventos extremos de tempo e clima observados e as mudanças do clima é recente. As projeções do IPCC (2007) indicam um maior número de dias quentes e ondas de calor em todas as regiões continentais, principalmente em regiões nas quais a umidade do solo vem diminuindo. Há ainda projeções de aumento da temperatura mínima diária em todas as regiões continentais, principalmente onde houve retração de neve e de gelo. Além disso, dias com geadas e ondas de frio estão se tornando menos frequentes.

Dentre os efeitos do aumento da temperatura global, destaca-se o descongelamento de geleiras, que poderá ocasionar o aumento do nível médio dos oceanos; a maior incidência de doenças tropicais; a desregulação climática; a perda e migração de biodiversidade e a descaracterização do comportamento fisiológico da fotossíntese do ciclo das diferentes culturas e o aumento dos riscos de salinização dos solos. Os impactos na água, nos ecossistemas, nos alimentos, no litoral e na saúde, decorrentes do aquecimento global, afetarão todas as regiões do globo.

Contudo eles serão sentidos de maneira diferenciada e irão variar em função da amplitude da adaptação, ritmo de mudança de temperatura e trajetória sócio-econômica

(IPCC, 2007). Na Figura 2.2 é apresentada uma síntese dos principais impactos em função do aumento da mudança da temperatura global média.

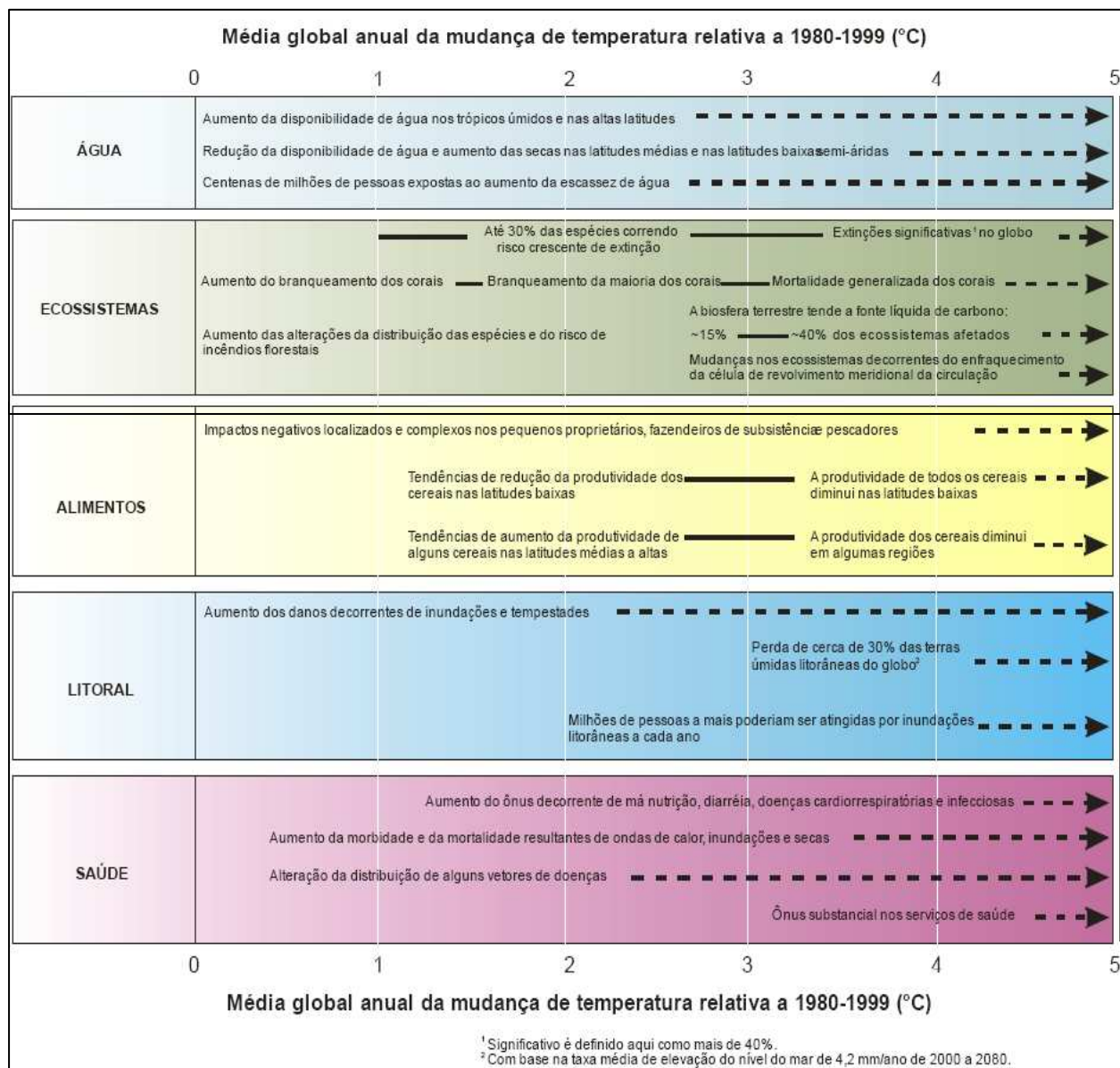


Figura 2.2. Principais impactos em função da elevação da temperatura global média.

Fonte: IPCC (2007, p. 23).

Segundo o primeiro inventário das emissões de GEE no Brasil (MCT, 2002), o principal GEE emitido é o CO₂ oriundo das queimadas e dos desmatamentos, principalmente da região Amazônica e das indústrias. Assim, o Brasil passa a ser o quinto maior emissor de GEE do

mundo. Dessa forma, a região Amazônica tornou-se um dos principais focos de estudos e análises no processo de mudanças climáticas, não só de grupos nacionais mas internacionais.

Nobre et al. (2007), após as evidências de estudos observacionais e estudos de modelagem sobre as mudanças climáticas de origem antrópicas, decorrentes de alterações do uso e cobertura da terra dentro da própria região amazônica, relatam que:

Tais alterações estão ligadas diretamente ao desmatamento de sistemas florestais para transformação em sistemas agrícolas e/ou pastagem, o que implica em transferência de carbono (na forma de dióxido de carbono) da biosfera para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global, o qual por sua vez acaba atuando sobre a região amazônica (Nobre et al., 2007, p. 24).

Neste mesmo estudo, ao analisarem inúmeras pesquisas realizadas na última década, abordando as mudanças dos usos e cobertura da terra e seus impactos no clima, na hidrologia, na biodiversidade, na variabilidade climática e nos incêndios florestais, os autores (op. Cit.) concluem que:

A Amazônia vem sendo submetida a pressões ambientais de origem antrópica crescentes nas últimas décadas, tanto pressões diretas advindas dos desmatamentos e dos incêndios florestais, como pressões resultantes do aquecimento global. A estabilidade climática, ecológica e ambiental das florestas tropicais amazônicas está ameaçada por essas crescentes perturbações, que, ao que tudo indica, poderão tornar-se ainda maiores no futuro. A ciência ainda não consegue precisar quão próximos estamos de um possível ponto de ruptura do equilíbrio dos ecossistemas e mesmo de grande parte do bioma Amazônico, mas o princípio da precaução nos aconselha a levar em consideração que tal ponto de ruptura pode não estar distante no futuro. Um colapso de partes da floresta tropical trará consequências adversas permanentes para o planeta Terra (Nobre et al. 2007, p. 26).

Desde a década de 80, o número crescente de áreas consideradas “degradadas” aliado à realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida no Rio de Janeiro em 1992, subsidiaram a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). A Convenção do Clima entrou em vigor em 21 de março de 1994, contando atualmente com 186 países. Desde então, estas nações têm se reunido para discutir o assunto e tentar encontrar soluções para os problemas decorrentes das adversidades climáticas.

Os encontros são denominados Conferência das Partes (COP), as quais foram realizadas em: 1995 a COP 1 (Berlim-Alemanha); 1996 a COP 2 (Genebra-Suíça); 1997 a COP 3 (Kyoto-Japão); 1998 a COP 4 (Buenos Aires-Argentina); 1999 a COP 5 (Bonn-Alemanha); 2000 a COP 6 (Haia-Holanda); 2001 a COP 6,5 (Bonn-Alemanha); 2001 a COP 7 (Marrakesh-Marrocos); 2002 a COP 8 (Nova Delhi-Índia); 2003 a COP 9 (Milão-Itália); 2004 a COP 10 (Buenos Aires-Argentina); 2005 a COP 11 (Montreal-Canadá); 2006 a COP 12 (Nairóbi - Quênia); 2007 a COP 13 (Bali – Indonésia) ; 2008 a COP 14 (Poznan – Polônia) e 2009 com a COP 15 (Copenhague – Dinamarca). Dentre todas as discussões das COP's, especial destaque foi o estabelecimento do Protocolo de Kyoto em 1997, o qual estabeleceu pela primeira vez políticas e medidas de redução de emissões de GEE's, além dos prazos e comprometimentos entre os países Partes da Convenção e, mais recentemente, de como avançar nas discussões de um acordo climático Pós-Kyoto em meio a uma crise financeira global.

Com as inúmeras evidências das conseqüências do processo de aquecimento global (IPPC, 2000, 2007), houve um aumento sensível nas discussões sobre as formas de minimização desse cenário. O Protocolo de Kyoto, ratificado em 2005 (171 países assinaram e ratificaram, 1 assinado com intenção de ratificar, 4 assinados sem intenção de ratificar e 12 não assinaram), (Figura 2.3) estabeleceu que os países signatários (Anexo I da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima) devem reduzir suas emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990, até o período 2008 a 2012 – época de contabilização de créditos dentro do primeiro período de compromisso. As Partes do Anexo I são divididos em dois sub-grupos:

- a) países “*desenvolvidos*”, membros da OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico): são países que necessitam diminuir suas emissões e portanto podem se tornar compradores de créditos provenientes dos mecanismos de flexibilização (Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Liechtenstein, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, Suécia, Suíça, União Européia, Turquia).
- b) países do antigo bloco soviético em “transição de economia”: são chamados de países em transição para economia de mercado e por isso podem ser anfitriões de projetos do tipo implementação conjunta (Bulgária, Croácia, Eslováquia, Eslovênia, Estônia, Rússia, Hungria, Letônia, Lituânia, Polônia, República Tcheco-Eslovaca, Romênia, Ucrânia).

Na Figura 2.3 está representado a condição dos países referente ao Protocolo de Kyoto.

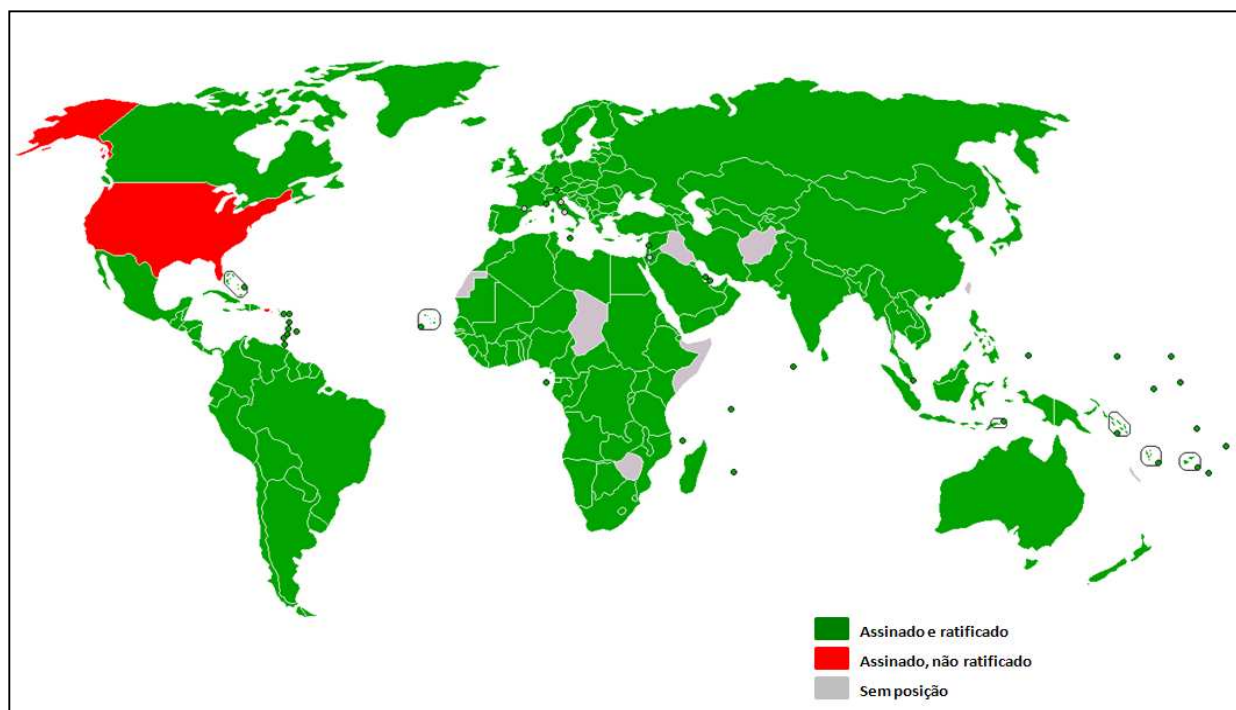


Figura 2.3. Participação dos Países no Protocolo de Kyoto em 2009.

Fonte: Adaptado Wikipédia (2009).

Visando reduzir os custos econômicos das reduções de emissões, foram desenvolvidos três mecanismos de flexibilização no âmbito do Protocolo de Kyoto: 1) Comércio Internacional de Emissões, 2) Implementação Conjunta e 3) MDL. O Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas - FBMC (criado pelo Decreto nº 3.515, de 20 de junho de 2000), define MDL como sendo um:

Instrumento com o objetivo de assistir as Partes do Anexo I da Convenção do Clima mediante fornecimento de capital para financiar projetos que visem à redução de gases de efeito estufa em países não-Anexo I. Em outras palavras: o MDL é um mecanismo de flexibilização que permite aos países desenvolvidos canalizar recursos para nações mais pobres ou mesmo adquirir reduções de projetos oriundos de países em desenvolvimento. E esses projetos, de acordo com o que foi acertado, seriam aceitos para alcançar as metas de redução, desde que sigam uma metodologia específica, cuja regulamentação consta dos acordos de Marrakech. Desta forma, os MDLs são uma alternativa para os países compensarem o fato de não terem reduzido suas emissões internas e uma forma de escapar das elevadas multas que estão previstas para aqueles que não atingirem suas metas no período que vai de 2008 a 2012 (FBMC, 2007, p. 10).

Destaca-se aqui que o sistema de MDL teve origem em uma proposta apresentada pelo Brasil, em maio de 1997, ao Secretariado da Convenção em Bonn (Alemanha), com o objetivo de estabelecer elementos para a definição do Protocolo à Convenção. Essa proposta consistia na criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo que seria formado por meio de contribuições dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de redução. Tal fundo seria utilizado para desenvolver projetos em países em desenvolvimento. Em Kyoto, a idéia do fundo foi modificada, estabelecendo-se o MDL. Dessa forma, o Protocolo definiu que o MDL estará sujeito à Conferência das Partes e supervisionado por um Conselho Executivo. As reduções serão certificadas por entidades operacionais designadas pela Conferência das Partes, com base nos seguintes pontos: a) Participação voluntária das Partes; b) Benefícios relacionados à mitigação das mudanças climáticas reais, mensuráveis e de longo prazo; c) Reduções em emissões que são adicionais àquelas que teriam ocorrido na ausência do projeto. Conforme o Fundo Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável (FBDS, 2002), são aplicações potenciais dos projetos para o MDL:

- a) Eficiência energética (eletricidade e combustíveis fósseis na indústria, no transporte e em usos públicos);*
- b) Planejamento urbano para a redução de emissão de combustíveis;*
- c) Fontes alternativas de energia: cogeração, gás natural, geração de energia de pequeno porte (pequenas hidroelétricas), energia eólica, solar térmica, fotovoltaica e biomassa;*
- d) Manejo sustentável de resíduos industriais urbanos e rurais;*
- e) Reflorestamento; e*
- f) Recursos hídricos, matas ciliares e compensação ambiental.*

Assim, o MDL é o mecanismo pelo qual países não membros do Anexo I (exemplo do Brasil) participem do Protocolo de Kyoto por meio da implantação de atividades de projeto que reduzam os níveis de emissões de GEE, gerando Reduções Certificadas de Emissões (RCEs). As RCEs são utilizadas/compradas por países do Anexo I para atingirem suas cotas de emissões. Esse sistema possui, sob a ótica dos países não pertencentes ao Anexo I, os objetivos de incentivar; investimento estrangeiro direto, transferência de tecnologia e matrizes energéticas (mais) limpas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. A participação brasileira se restringe ao MDL, mas com a possibilidade de trazer benefícios sociais, ambientais e econômicos ao País. Atualmente, no Brasil, existem projetos MDL nas mais diversas áreas, com destaque para energias renováveis (eólica, solar, geotérmica, biomassa), eficiência energética, co-geração,

substituição do uso de combustíveis fósseis, aproveitamento de gases de aterro sanitário, implantação de sistemas florestais e manejo de resíduos de animais (MCT, 2007).

Com isto, criou-se uma política de mercado internacional de créditos de carbono, o qual vem ganhando força a partir de sua inserção nas bolsas de valores internacionais como a Chicago Climate Exchange (CCX, 2005) e nacionais liderada pela Bolsa de Mercadorias e Futuros de São Paulo (BM&F, 2007) sendo esta, a primeira do mundo a leiloar Reduções Certificadas de Emissão (RCEs). Ressalta-se que no UNFCCC (1998) foram estabelecidas definições e diretrizes relativas aos projetos de MDL no que tange ao uso da terra, mudança de uso da terra e florestas (Land Use, Land Use Change and Forestry – LULUCF).

Essas diretrizes tratam dos potenciais *sumidouros*, *fontes* e *reservatórios* relacionados às atividades agropecuárias e florestais, dentro do Protocolo de Kyoto, pelo qual se estabeleceu que cada tonelada de gás carbônico que deixa de ser emitida ou que é retirada da atmosfera pode ser “negociada” no mercado internacional de créditos de carbono. As atividades previstas com o LULUCF estão limitadas ao florestamento e reflorestamento no primeiro período de contabilização de créditos (2008-2012). Por outro lado, o IPCC (2000, 2007) incentiva as ações imediatas no início do processo às atividades de redução das emissões de GEE, para que os créditos relativos aos projetos possam ser contabilizados no futuro.

As definições e modalidades de projetos de reflorestamento e florestamento vinculados ao MDL entraram em discussão a partir da COP 7, realizada em Marrakesh (2001), principalmente no que tange às questões de permanência (relacionado à quantidade de tempo que o carbono permanecerá fixado no sistema implantado), adicionalidade (que consiste na redução de emissões de GEE ou no aumento de remoções de CO₂ de forma adicional ao que ocorreria na ausência do projeto de MDL) e vazamento (o mesmo que *leakage*; significa a variação líquida das emissões de GEE que ocorre fora dos limites do projeto e que é mensurada e atribuída à atividade do projeto de MDL).

Na COP 9, em Milão (2003), após negociações referentes aos temas mais críticos (tratamento da não-permanência do C, a estimativa da linha de base, avaliação dos impactos sócio-econômicos e ambientais, referência à utilização de espécies exóticas e/ou geneticamente modificadas em projetos de florestamento/reflorestamento e as modalidades simplificadas para projetos de pequena escala), chegou-se a um consenso sobre a implementação do referido instrumento, com a finalização do anexo contendo as modalidades e procedimentos para atividades de projetos envolvendo floresta, florestamento, reflorestamento, revegetação, manejo

de floresta, áreas de cultivo e de pastagens no contexto de MDL, assim como suas definições (UNFCCC, 2003, art. 12).

Floresta consiste em uma área mínima de 0,05 a 1,0 hectare, com cobertura de copa (ou nível de estoque equivalente) de mais de 10-30 por cento, com árvores com potencial de alcançar uma altura mínima de 2-5 metros na maturidade, *in situ*. Uma floresta pode consistir tanto de formações florestais fechadas, onde árvores de vários estratos e sub-bosque cobrem a maior parte da terra, ou florestas abertas. Formações naturais jovens e todas as plantações que ainda tiverem que alcançar uma densidade de copa de 10-30 por cento, ou altura de árvore de 2-5 metros são consideradas florestas, assim como áreas que normalmente fazem parte de uma área florestal que está temporariamente destocada como resultado de intervenção humana ou desbaste ou causas naturais, mas que são esperadas reverter em floresta”. “**Florestamento** é a conversão induzida diretamente pelo Homem, de uma área que não foi florestada por um período de pelo menos 50 anos para uma área florestada, através de plantio, semeadura e/ou promoção de fontes naturais de sementes induzida pelo Homem”. “**Reflorestamento** é a conversão induzida diretamente pelo Homem, de área não florestada para área florestada através de plantio, semeadura e/ou promoção de fontes naturais de sementes induzida pelo Homem, em área que era florestada mas que foi convertida para não-florestada. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento estarão limitadas ao reflorestamento que ocorra nas terras que não continham florestas em 31 de dezembro de 1989”. “**Manejo de Florestas** é um sistema de práticas para manejo e uso de terras florestadas no sentido de realizar funções ecológicas (incluindo diversidade biológica), econômicas e sociais da floresta de maneira sustentável”. “**Revegetação** é uma atividade induzida diretamente pelo homem para aumentar os estoques de carbono em determinados locais por meio do estabelecimento de vegetação que cubra uma área mínima de 0,05 hectare e não se enquadre nas definições de florestamento e reflorestamento aqui contidas”. “**Manejo de áreas de cultivo** é o sistema de práticas tanto na terra em que as culturas agrícolas são cultivadas quanto na terra que é deixada de lado ou não é utilizada temporariamente para a produção dessas culturas”. “**Manejo de pastagens** é o sistema de práticas em terra utilizada para a produção pecuária, visando manipular a quantidade e o tipo da vegetação e do rebanho produzidos.

Destaca-se ainda que, conforme essa decisão tomada na COP 9, para que uma Parte não Anexo I possa hospedar uma atividade de projeto de florestamento/reflorestamento no MDL, é necessário que selecione e informe a Junta Executiva (JE), através da autoridade nacional designada para o MDL. Deve-se levar em consideração primeiramente os limites do Projeto e Reservatórios de Carbono, sendo que esses limites delimitam geograficamente as atividades de projeto de florestamento/reflorestamento sob controle dos participantes do projeto. A atividade de projeto pode conter mais do que uma área discreta. Os reservatórios de carbono compreendem os cinco possíveis reservatórios: 1) biomassa acima do solo, 2) biomassa abaixo do solo, 3) serapilheira (ou lixeira), 4) madeira morta e 5) carbono orgânico do solo. Para isso, um projeto de MDL deve passar por processo de validação, registro e certificação, o qual é constituído por um período de creditação, plano de monitoramento, verificação e certificação definidas como:

Validação é o processo de avaliação independente de uma atividade de projeto de florestamento/reflorestamento proposta no MDL por uma entidade operacional designada.

Registro é a aceitação formal, pela Junta Executiva, de um projeto validado, como uma atividade de projeto de florestamento/reflorestamento no MDL. Registro é um pré-requisito para a verificação, certificação e emissão de certificados de redução de emissões (CERs).

Período de Creditação estabelece o período em que uma atividade de projeto de florestamento/reflorestamento no MDL pode gerar créditos. Ele começa no início da atividade de projeto de florestamento/reflorestamento no MDL.

Plano de Monitoramento é parte integrante do documento de concepção do projeto e deve informar a forma de coleta e armazenamento dos dados relevantes necessários para estimar ou medir a remoção líquida real de gases de efeito estufa por sumidouros durante o período de creditação.

Verificação é a revisão periódica independente e determinação a posteriori pela entidade operacional designada da remoção real líquida de gases de efeito estufa por sumidouros alcançada desde o início da atividade de projeto de florestamento ou reflorestamento no MDL. **Certificação** é a afirmação, por escrito, por uma entidade operacional designada, de que a atividade de projeto de florestamento/reflorestamento atingiu a remoção antrópica líquida de gases de efeito estufa desde o início do projeto, conforme verificado (UNFCCC, 2003, art. 10, art. 19).

Dessa forma, foram estabelecidas duas categorias de certificados, denominados de CER (reduções certificadas de emissões), para as atividades de projeto de florestamento/reflorestamento no MDL conforme apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Características dos tipos de categoria de certificados de MDL.

Tipo de Categoria de Certificado	Características
CER temporário (tCER)	Emitido para uma atividade de projeto de florestamento ou reflorestamento no MDL, e expira ao final do período de compromisso subsequente àquele onde foi emitido
CER de longo prazo (ICER)	Emitido para uma atividade de projeto de florestamento ou reflorestamento no MDL, e expira ao final do período de creditação da atividade de projeto para o qual foi emitido

Neste contexto, os participantes do referido projeto devem selecionar uma dentre essas abordagens, para tratar a questão da não-permanência de uma atividade de projeto de florestamento/reflorestamento no MDL, sendo que a abordagem escolhida deve permanecer fixa durante o período de creditação, incluindo as renovações, se aplicável. Para que as atividades de LULUCF sejam contempladas como MDL, elas devem seguir alguns princípios básicos como:

- a) As atividades devem basear-se em ciência sólida, já comprovada;
- b) Devem ser aplicadas metodologias consistentes ao longo do tempo para estimativa e relato de tais atividades;
- c) A mera presença de carbono em estoque deve ser suprimida da contabilidade da redução das emissões; e
- d) A implementação de atividades vinculadas ao LULUCF devem contribuir para a biodiversidade e o uso sustentável de recursos naturais.

Conforme o IPCC (2007), as atividades agrícolas de mitigação relacionadas com as florestas podem reduzir de forma considerável as emissões por fontes e aumentar as remoções de CO₂ por sumidouros com custos baixos e podem ser planejadas para criar sinergias com a adaptação e o desenvolvimento sustentável, gerando empregos e renda, contribuindo para a

biodiversidade e a conservação das bacias hidrográficas, elevando a oferta de energia renovável e reduzindo a pobreza. O IPCC (2007, p.17) destaca ainda:

Principais tecnologias e práticas de mitigação disponíveis comercialmente na atualidade: florestamento, reflorestamento, manejo florestal, redução do desflorestamento, manejo da exploração de produtos madeireiros, uso de produtos florestais para a geração de bioenergia em substituição ao uso de combustíveis fósseis. Principais tecnologias e práticas de mitigação projetadas para serem comercializadas antes de 2030: melhoria das espécies de árvores para aumentar a produtividade da biomassa e o sequestro de carbono, melhoria das tecnologias de sensoriamento remoto para análise do potencial de sequestro de carbono da vegetação/solo e mapeamento da mudança no uso da terra.

Conforme MCT (2009), dos 4350 projetos de MDL em âmbito mundial, o Brasil possui 8%, ocupando o 3º lugar. A China está em 1º lugar (36%) e a Índia em 2º (28%). Os projetos no Brasil estão distribuídos em 20 Estados, sendo liderados por São Paulo com 21, sendo que o setor de energia renovável congrega quase 50% desses projetos (Figura 2.4).

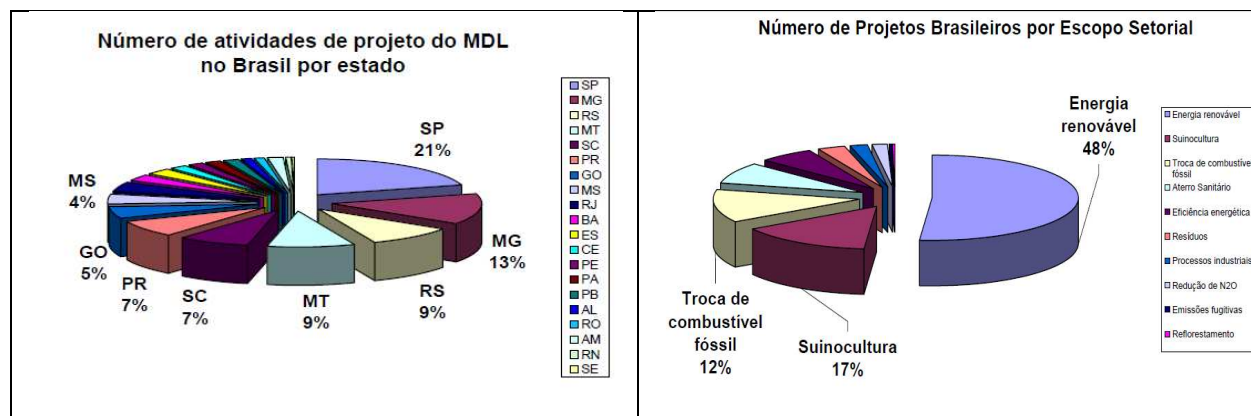


Figura 2.4. Situação dos projetos de MDL no Brasil.

Fonte: MCT (2009)

Neste sentido, o Brasil vem desempenhando um importante papel no mercado/comercialização internacional de créditos de carbono, pois além de ser pioneiro nas questões políticas e técnicas relacionadas ao MDL, o País possui condições edafoclimáticas favoráveis e elevado conhecimento sobre a implantação e manejo de sistemas agrícolas (destaque para o florestamento, reflorestamento e agroflorestas), potenciais sumidouros de CO₂. A seguir, é apresentado um detalhamento do sistema de produção agroflorestal, que tem elevado potencial na geração de serviços ambientais, em especial, na produção de biomassa e, consequentemente, na fixação de carbono.

2.4. Sistemas Agroflorestais e o Acúmulo de Biomassa e Carbono

A agrossilvicultura como ciência se desenvolveu a partir da década de 70, quando as hipóteses principais da importância da função das espécies arbóreas sobre os solos tropicais foram elaboradas. Esse sistema de produção promove a interface entre a silvicultura (estudo e exploração de florestas) e a agricultura, tendo por objetivos a produção de alimento, fibras, frutas, produtos florestais madeireiros e não madeireiros (medicamentos e extratos por exemplo).

A agrossilvicultura inclui tanto o conhecimento e uso de práticas agroflorestais quanto o desenvolvimento de sistemas agroflorestais - SAF's, diferindo de um sistema agropecuário tradicional por ter um componente lenhoso e perene que ocupa papel fundamental na sua estrutura e função, e são usados deliberadamente na mesma unidade de manejo da terra com espécies agrícolas de arranjo espacial e sequência temporal (ICRAF, 2004).

A história dos sistemas agroflorestais já vem de longa data, visto que foram e continuam sendo desenvolvidos por populações tradicionais em todo o mundo, cujos princípios estão arraigados às culturas milenares, os quais foram se adaptando ao meio e este, se moldando à ação humana.

Neste sentido, Götsch (1996) ressalta que esses sistemas são tentativas de harmonizar nossas atividades agrícolas com os processos naturais dos seres vivos, para produzir um nível ideal de diversidade e quantidade de frutos, sementes e outros materiais orgânicos de alta qualidade, sem o uso de insumos como fertilizantes, pesticidas ou maquinários pesados. O objetivo é que cada espécie se desenvolva para aproximar nossos sistemas agrícolas do ecossistema natural local, portanto, trata-se do oposto da agricultura moderna, na qual o homem tenta adaptar plantas e ecossistemas às necessidades da tecnologia.

Segundo Vivan (2000), numa perspectiva agroecológica, os sistemas agroflorestais são entendidos como arranjos sequenciais de espécies ou de consórcios de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, através dos quais se busca, ao longo do tempo, reproduzir uma dinâmica sucessional natural, visando atender demandas humanas de modo sustentável.

Apresenta-se a seguir, por meio de ilustrações (Figura 2.5), um modelo de sistema agroflorestal (UFA, 2007), onde se observam diversos estágios da sucessão vegetal. Partindo inicialmente do estágio de quatro meses, onde o consórcio proposto é simples (milho, arroz e mandioca), passando pelos estágios de 1, 5 anos, 5 anos, 18 anos e evoluindo até os 40 anos, onde o consórcio já se encontra mais complexo (sumaúma, castanheira do Pará, seringueira, jaca, cupuaçu, cacau). Destaca-

se ainda que todas as espécies do sistema proposto sejam implantadas ao mesmo tempo. Portanto, já na primeira etapa, convivem todas as espécies que dominarão as etapas subsequentes.

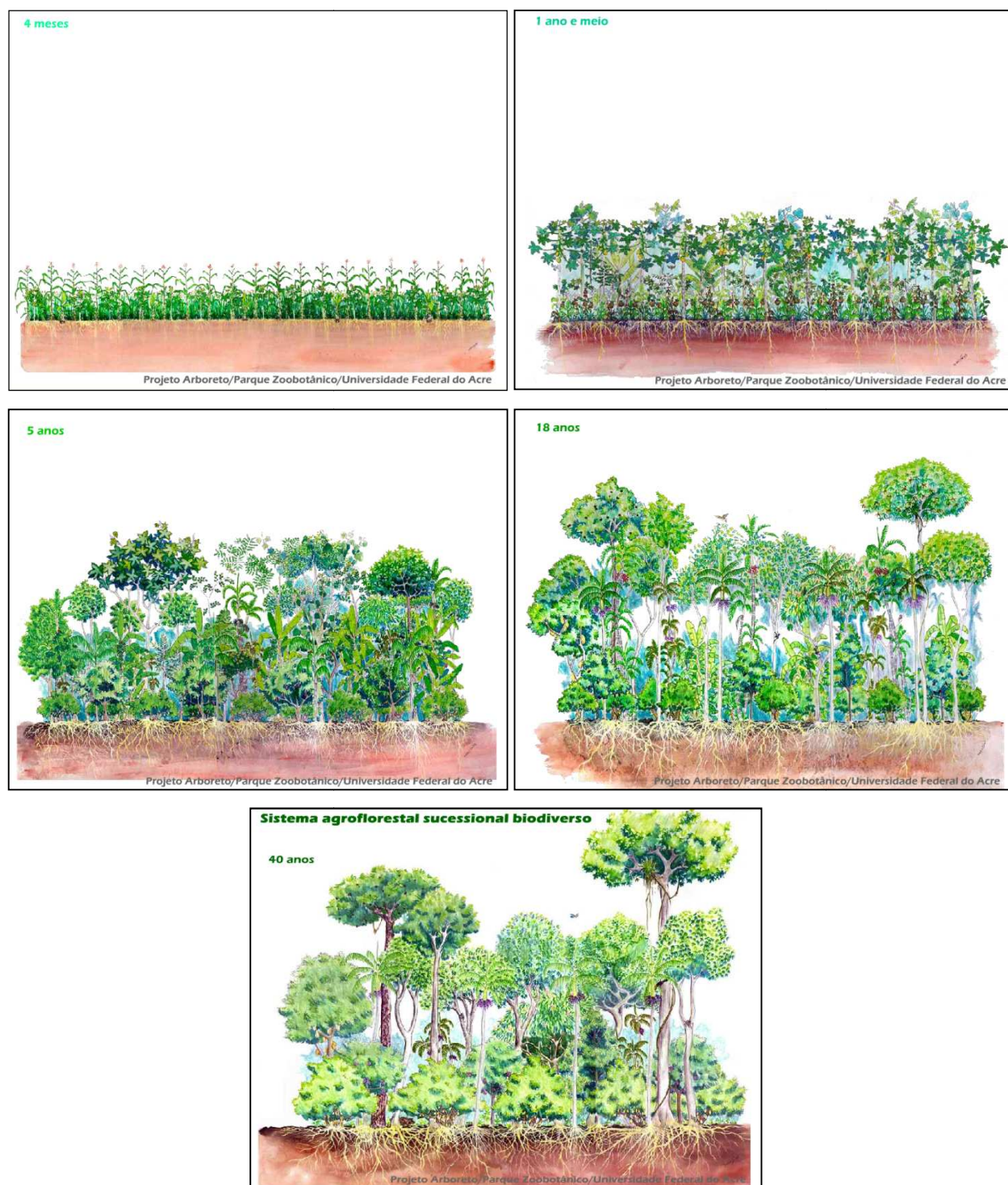


Figura 2.5. Modelo da evolução de um sistema agroflorestal sucessional biodiverso.

Fonte: UFA (2007).

Dessa forma, percebe-se que nos sistemas agroflorestais a essência analógica do sistema é a semelhança e imitação da natureza, visto que plantas e animais vivem em consórcios com outras espécies porque precisam dessas espécies para otimizar sua existência e reprodução, criando novos consórcios com composições diferentes, que serão determinados por uma procedência e determinam uma continuidade (Vaz da Silva, 2002). As espécies sucessionais são aquelas que no processo acumulam qualitativamente e quantitativamente fertilidade para o solo, diversidade, complexidade e energia vital para a transição gradual de um estágio para o outro.

No desenvolvimento dos sistemas agroflorestais, segundo Vaz da Silva (2002), não existe competição entre as espécies e entre os consórcios. O que há é uma relação de criador e criados entre os consórcios de vida mais curtos com aqueles mais longos. Entre as espécies de mesmo consórcio, a relação é de complementaridade, enquanto o estrato a ser ocupado é função a ser cumprida. Vaz da Silva (op.Cit.) ressalta ainda que, na história da agricultura, o fenômeno da competição entre as espécies é motivo de grande preocupação e responsável pelas complicações e prejuízos desta atividade. No entanto, as dificuldades são do próprio ser humano em diferenciar os meios empregados pela vida e suas causas, sendo que as “pragas”, doenças e “ervas daninhas” são o meio que a vida, pacientemente, emprega para realizar sua tarefa complexificadora em determinadas situações.

Segundo Peneireiro (2004), deve-se observar e ter postura aberta para aprender, pois nesses sistemas acaba-se por ser aprendiz da própria natureza. Os sistemas agroflorestais fundamentam-se em bases ecológicas e têm a sucessão ecológica como a mola mestra. É importante compreender o funcionamento da natureza para se basear nesses fundamentos, visando elaborar, implantar e manejar estes sistemas de produção. Nesse sentido, Dubois (2009) destaca a importância de se considerar os conhecimentos acumulados em SAF pelas populações tradicionais (índios, ribeirinhos, seringueiros e castanheiros) e por agricultores familiares.

Os sistemas de produção sustentáveis, a exemplo dos agroflorestais, provavelmente deverão ser mais dependentes de conhecimentos científicos, ecológico e local, assumindo, ainda, perspectivas interdisciplinares (Ehlers, 1999), e não será um retrocesso apesar de diminuir a dependência externa, pois a tecnologia será essencialmente atrelada ao conhecimento de vida e sua dinâmica. Sistemas agroflorestais são talvez aqueles que exijam a maior mudança de paradigma para serem devidamente compreendidos, pois ao criar uma agrofloresta, o agricultor está agindo positivamente sobre o manejo da paisagem, dos grandes processos naturais,

realizando o que pode-se chamar de *vontade do planeta*, ou do universo, ao invés de orientar-se por objetivos imediatos como o lucro e a máxima rentabilidade (Osterroht, 2002).

De acordo com Götsch (1996), tudo no cosmos é inspiração e expiração. No caso, o sol estaria expirando e a terra inspirando, ou seja, captando a energia cósmica (lumínica, cinética de partículas, radioativa), transformando-se em reserva de matéria complexa, que seria o armazenamento dos sub-produtos da vida e do metabolismo, através de cadeias orgânicas complexas, como petróleo e carvão. Os SAF's, como um todo, inspiram, absorvendo energia e nutrientes, crescendo, e expiram, transformando toda a biomassa e energia acumulada para o ciclo que se segue, ciclos que têm em comum a explicação de sucessão das espécies. Bernardes et al. (2009, p.461) destacam que:

Com a presença do componente arbóreo em um sistema de produção agrícola, pela retenção ou introdução de árvores, passa-se a haver novas interações entre seus componentes. As interações ocorrem no espaço ou no tempo, o que torna o sistema mais complexo tanto do ponto de vista biofísico como socioeconômico.

Assim, a organização desses sistemas de produção reflete a organização de ecossistemas, demonstrando a estratégia do Planeta que é a complexidade e os mecanismos geradores da ordem, ou seja, as condições ambientais como um todo (Vaz da Silva, 2002). Todas as intervenções antrópicas nos SAF acontecem visando intensificar a vida e as condições para a vida, agindo no sentido de sintropia, de otimizar processos de fotossíntese, catalisando a reciclagem e o fluxo de carbono, participando do metabolismo saudável do Planeta. Porro (2009, p. 36) enfatiza que:

Apresentados como uma alternativa produtiva sustentável para os diversos contextos socioambientais amazônicos, os SAF's caracterizam-se por proporcionar um manejo de recursos naturais dinâmico e ecológico, seja através da integração de árvores nos estabelecimentos agrícolas, em referência à definição tradicionalmente utilizada para sistema agroflorestral, como também nas situações em que a produção agrícola passa a ocorrer de forma sequencial e/ou adjacente a áreas florestadas. As interações entre espécies florestais e cultivos agrícolas, nas áreas onde o elemento predominante é o estrato arbóreo florestal, caracterizam-se por um maior diversidade biológica nas estratégias de produção adotadas, proporcionando benefícios econômicos e sociais aos usuários dos recursos naturais e benefícios ambientais para a sociedade.

No Brasil, em especial na Amazônia, os SAF's estão sendo amplamente estudados e difundidos nos últimos anos (Götsch, 1996; Vivan, 1998; Peneireiro, 1999; Kitamura e Rodrigues, 2000; Yana e Weinert, 2001; Osterroht, 2002, Santiago, 2004; Luizão et al., 2006; Kato et al., 2006; Carvalho, 2006; Porro, 2009). Esses sistemas permitem a recuperação de áreas degradadas, a produção de cultivos diversificados (alimentares e biocombustíveis) e a geração de serviços ambientais (infiltração d'água, aumento da matéria orgânica, elevação da biodiversidade), constituindo-se ainda como importantes fixadores de carbono na biomassa e no solo, em função da capacidade dos vegetais em utilizar o CO₂ atmosférico no processo fotossintético.

Neste contexto, Wandelli et al. (2004) apresentaram estudo relacionando os serviços ambientais de geração de biomassa acima do solo, de SAF's em relação à regeneração natural de áreas degradadas e ao sistema com forrageiras herbáceas, sendo observados resultados superiores (7,4t/ha/ano) para os SAF's em relação à regeneração natural (6,8t/ha/ano) e as forrageiras (2,8t/ha/ano), além da grande produção de grãos e frutas obtidos nesse sistema. Já Fernandes (2006), abordando sobre o papel da agrofloresta para a produção e sustentabilidade das paisagens face às mudanças globais do clima, destaca que dois sistemas agroflorestais de nove anos na região de Manaus obtiveram biomassa de 7,4 e 9,1t/ha/ano, conforme as espécies utilizadas, totalizando, no período, 34,3 e 41,7t de C, em cada um deles.

Ressalta ainda que estes sistemas possuem elevado potencial de fixarem carbono na vegetação acima do solo, constituindo-se em importante forma de implementação de MDL para o desenvolvimento de países signatários do protocolo de Kyoto. Ao avaliar a fixação de carbono através da implementação de sistemas agrossilvipastoris em relação às mesmas culturas, quando cultivadas em monocultura, Tsukamoto et al. (2004) obtiveram resultados significativamente superiores para sistemas agrossilvipastoris, o que torna estes sistemas em atividade extremamente viáveis para projetos de MDL no Brasil. Ressalta ainda a originalidade da temática dentro dos sistemas agroflorestais e a necessidade de novas pesquisas para definir metodologias com base científica para mensuração e estimativas do carbono fixado por esses sistemas produtivos.

Valois (2003) observa que os sistemas agroflorestais na Amazônia têm demonstrado vantagens comparativas em relação aos monocultivos, pois, além de evitar a degradação de solos e proporcionar o aumento da matéria orgânica com consequente benefício para a melhoria química e física dos solos, essa associação de culturas traz ainda o grande mérito de reduzir a

incidência de pragas e doenças nas lavouras. Destaca ainda que a agrofloresta não se constitui apenas em um sistema de produção, mas no uso da terra de maneira estratégica, pois a produção é elevada por unidade de área, principalmente pela combinação simultânea ou escalonada de espécies anuais, semi-perenes, perenes, madeireiras e não-madeireiras, além de criações, de maneira compatível com os padrões dos produtores rurais familiares, para o caso da Amazônia.

Após analisar profundamente os ciclos biogeoquímicos em agroflorestas da Amazônia, Luizão et al. (2006, p. 97) concluíram que:

Os sistemas agroflorestais estudados, com seleção de espécies nativas de fruteiras e árvores madeireiras, mostraram ser uma forma eficiente para re-utilização de áreas abandonadas e, ou, degradadas na Amazônia, recuperando não apenas a capacidade produtiva da terra – alimentos e madeira, mas também vários serviços ambientais do ecossistema: fixação de carbono na biomassa, a circulação da água na interface solo-planta-atmosfera e a reciclagem de nutrientes minerais. [...] recomenda-se que os SAF sejam direcionados especialmente para a recuperação das duas centenas de milhões de hectares de áreas já desmatadas e abandonadas na Amazônia brasileira.

Cada sistema agroflorestral implantado possui uma dinâmica fotossintética diferenciada devido às condições edafoclimáticas intrínsecas ao ambiente e pelo arranjo de espécies anuais, semi-perenes e perenes utilizadas na composição das áreas de cultivo, formando assim, classes distintas de estoque de carbono pela emissão ou sequestro da atmosfera. O estudo do uso e cobertura da terra se torna indispensável para amparar decisões gerenciais vinculadas às atividades econômicas e ambientais, como políticas públicas de uso dos recursos naturais, manejo florestal, estudos de ciclagem de nutrientes e sequestro de carbono, entre outros.

O maior desafio na mensuração e no monitoramento do carbono em sistemas agroflorestais, em relação aos monocultivos de áreas agrícolas e florestais, é face à dispersão das áreas e os diferentes sistemas de manejo aplicados na condução. Existe grande dificuldade em se avaliar e analisar características terrestres locais, como por exemplo, a capacidade de fixação de carbono pelos vegetais e no solo, e gerar metodologias e processos de extrapolação para áreas geograficamente mais abrangentes (Winrock, 1997). A definição dessas metodologias e processos torna possível a análise e a certificação técnico-científica de serviços ambientais para grandes extensões, baseados no uso e cobertura da terra. Mattos e Cau (2009) destaca que um dos

principais gargalos para a inserção de SAF's em compensação de serviços ambientais refere-se a problemas metodológicos na medição e verificação dos seus serviços.

As imagens de satélites advindas do sensoriamento remoto, associadas às técnicas de análise espacial disponíveis em sistemas de informação geográfica, são “excelentes” fontes de dados para se gerar informações espaço-temporais sobre os recursos naturais, servindo de base técnica-científica em questões relacionadas às mudanças globais, como alterações no uso e cobertura da terra, no clima e no ciclo do carbono devido a causas naturais ou antrópicas (IPCC, 2007). Esses instrumentos ligados às geotecnologias estão em fase inicial de utilização para a quantificação de carbono e caracterizam-se como recursos indispensáveis para estudos dessa natureza. Conforme Mattos e Cau (2009), a mensurabilidade dos serviços ambientais e os custos associados são desafios importantes para esquemas de compensação por serviços ambientais em SAF's e destaca que uma das formas mais econômicas de medir carbono em biomassa é por meio do sensoriamento remoto. Porém, é mais fácil distinguir monocultivos de culturas anuais e áreas de floresta do que diferentes tipos de SAF's, o que requer trabalhos mais intensos de campo (Brown, 1996).

Porém, Winrock (1997) já sugeria como metodologia proposta para a estimativa de carbono em sistemas agroflorestais, a combinação entre dados provenientes de sensoriamento remoto e observações da vegetação. Destaca ainda que o sucesso dessa mensuração depende da definição dos diferentes estratos no sistema de produção e a posterior extrapolação, efetuada por processos automáticos dentro dos sistemas de informação geográfica, excluindo áreas não-cultivadas, ou seja, é imprescindível o conhecimento detalhado dos sistemas de produção na área de estudo. No capítulo posterior, é apresentado o município de Tomé-Açu, sua inserção histórico-cultural na paisagem amazônica e os sistemas agroflorestais existentes nessa região.

3. TOMÉ-AÇU E SUA INSERÇÃO HISTÓRICO-CULTURAL NA PAISAGEM AMAZÔNICA

O presente estudo foi realizado em áreas de produtores rurais vinculados à Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA), localizada no distrito de Quatro Bocas no município de Tomé-Açu, Pará (Figura 3.1).

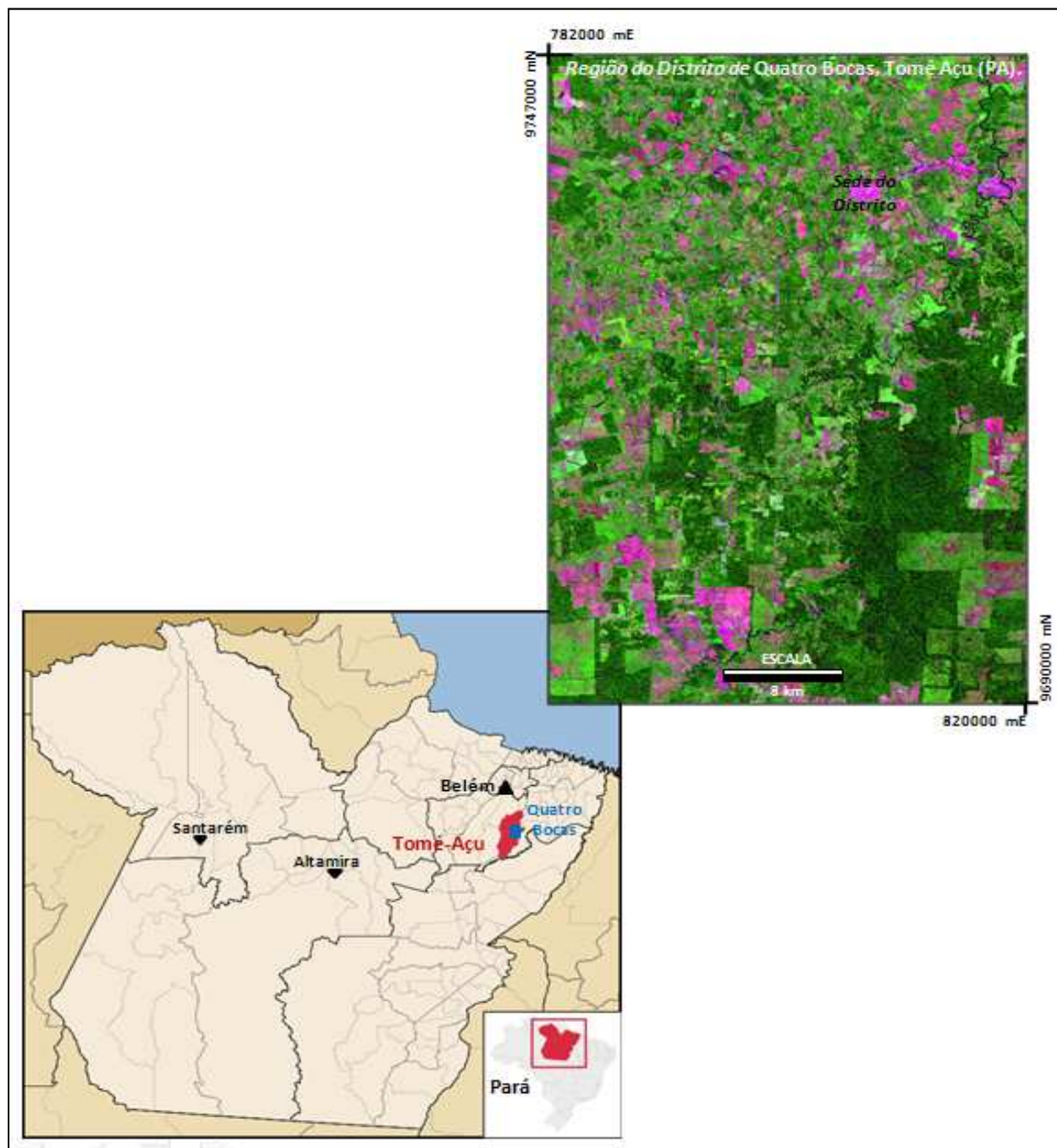


Figura 3.1. Localização da área de estudo, Região do Distrito de Quatro Bocas, Tomé-Açu (PA).

3.1. Condicionantes Físico-geográficos

Tomé-Açu faz parte da Mesorregião Nordeste Paraense e da Microrregião de Tomé-Açu (IBGE, 2008). A sede municipal está posicionada nas coordenadas geográficas: 2° 25' 00" de latitude sul e 48° 09' 09" de longitude a oeste. A área do município é de 5.828km², limitando-se ao Norte com Acará e Concórdia do Pará; a Leste com São Domingos do Capim, Aurora do Pará e Ipixuna do Pará; ao Sul com Ipixuna do Pará e a Oeste com Tailândia e Acará. A principal localidade é o distrito de Quatro Bocas, no qual foi realizada esta pesquisa.

A estrutura geológica de Tomé-Açu é composta por sedimentos Terciários da Formação Barreiras e do Quaternário Subatual e Recente. Segundo Rodrigues et al. (2001a, 2001b), em decorrência dessa estrutura, o relevo é caracterizado por compartimentos topográficos bastante simples, tais como, baixos platôs aplainados (tabuleiros), terraços e várzeas, embora, na parte sul, sobressaíam-se baixas colinas com amplitude altimétrica entre 14m e 96m. Morfoestruturalmente, insere-se no Planalto Rebaixado do Amazônia (Baixo Amazonas). Os solos do Município são representados pelo latossolo amarelo distrófico textura argilosa média, e solo concrecionário laterítico, indiscriminados distróficos textura indiscriminada, gleys pouco úmido entrófico e distrófico e aluvial entrófico distrófico em associação.

A vegetação original representativa do município é a Floresta Ombrófila, Floresta Densa dos Baixos Platôs, a Densa de Platôs, atualmente bastante alteradas, ensejando o surgimento das florestas secundárias ou capoeiras. Remanescentes florestais são observados principalmente às margens dos cursos d'água.

A drenagem de Tomé-Açu é representada pela bacia do rio Acará-Mirim que nascendo ao sul do município (Figura 3.2), toma direção norte-nordeste e deságua no rio Acará, no município de mesmo nome. O rio Acará-Mirim recebe inúmeros afluentes, sendo os de maior expressão, aqueles situados a margem direita, entre eles, os igarapés Tomé-açu (que banha a sede municipal), Araraguara, Timboteu, Biuteua, Tucumandeua e Mocoões. Já, pela margem esquerda, destacam-se os rios Cuxiu e Mariquita e os igarapés Água Azul e Tucunandeua.

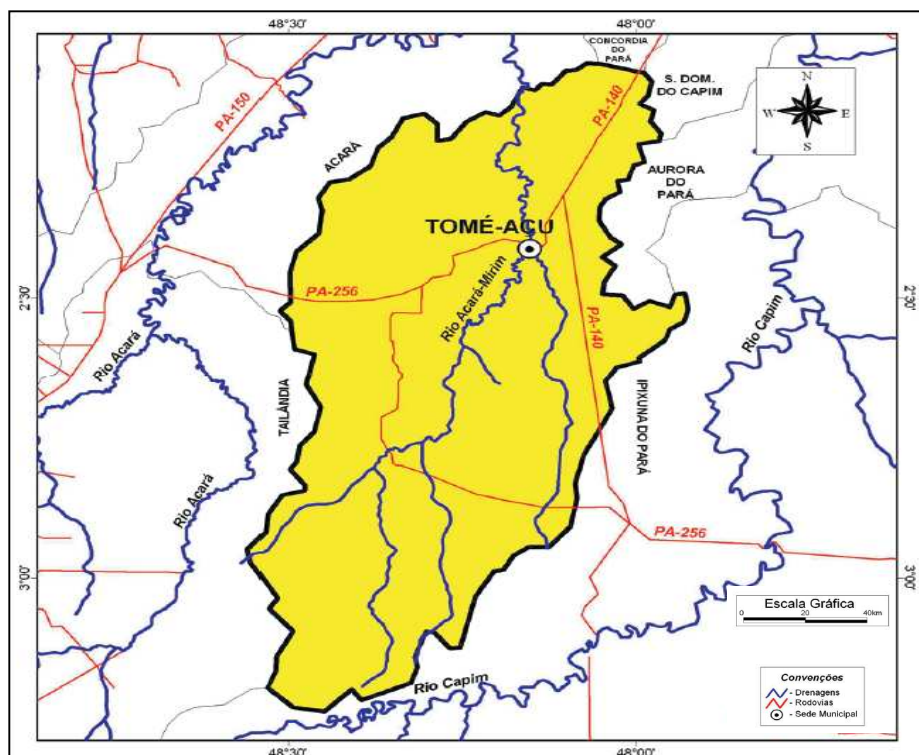


Figura 3.2. Representação da rede de drenagem e vias de acesso de Tomé-Açu, PA.
Fonte: Embrapa (2008).

Nas Figuras 3.3 e 3.4 estão apresentadas informações gerais sobre as condições climáticas médias do Estado do Pará (precipitação, temperatura, insolação e umidade relativa).

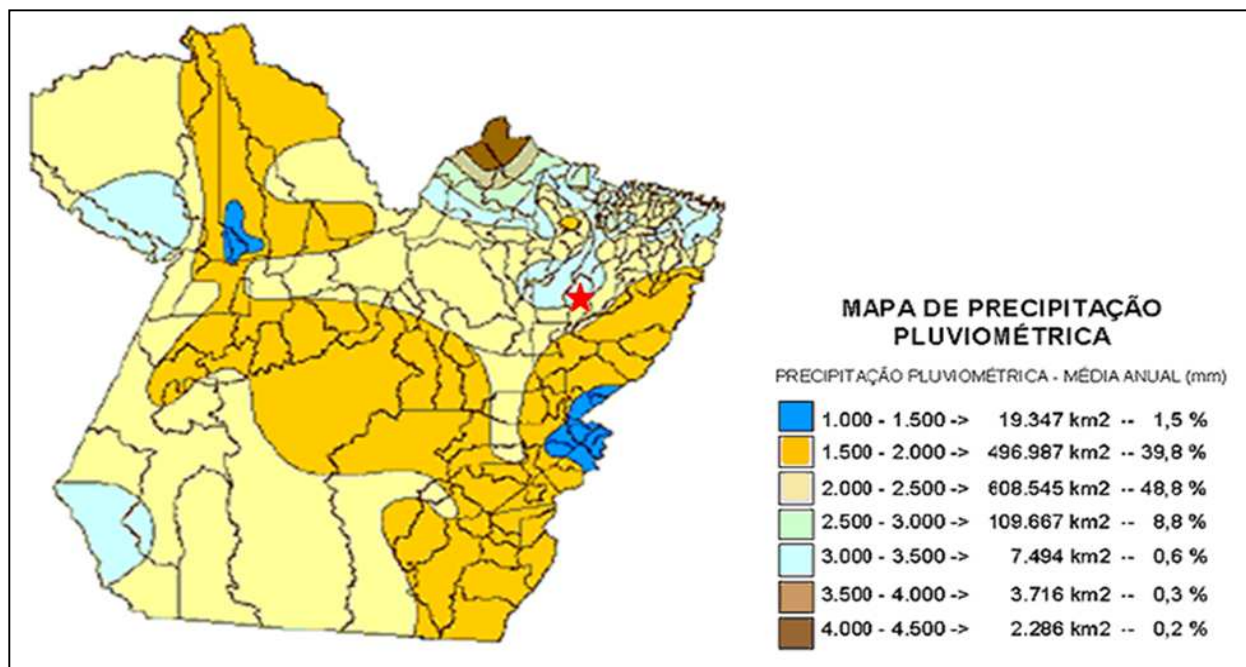


Figura 3.3. Precipitação média do estado do Pará, destacando Tomé-Açu.
Fonte: SECTAM/PARÁ (2009)

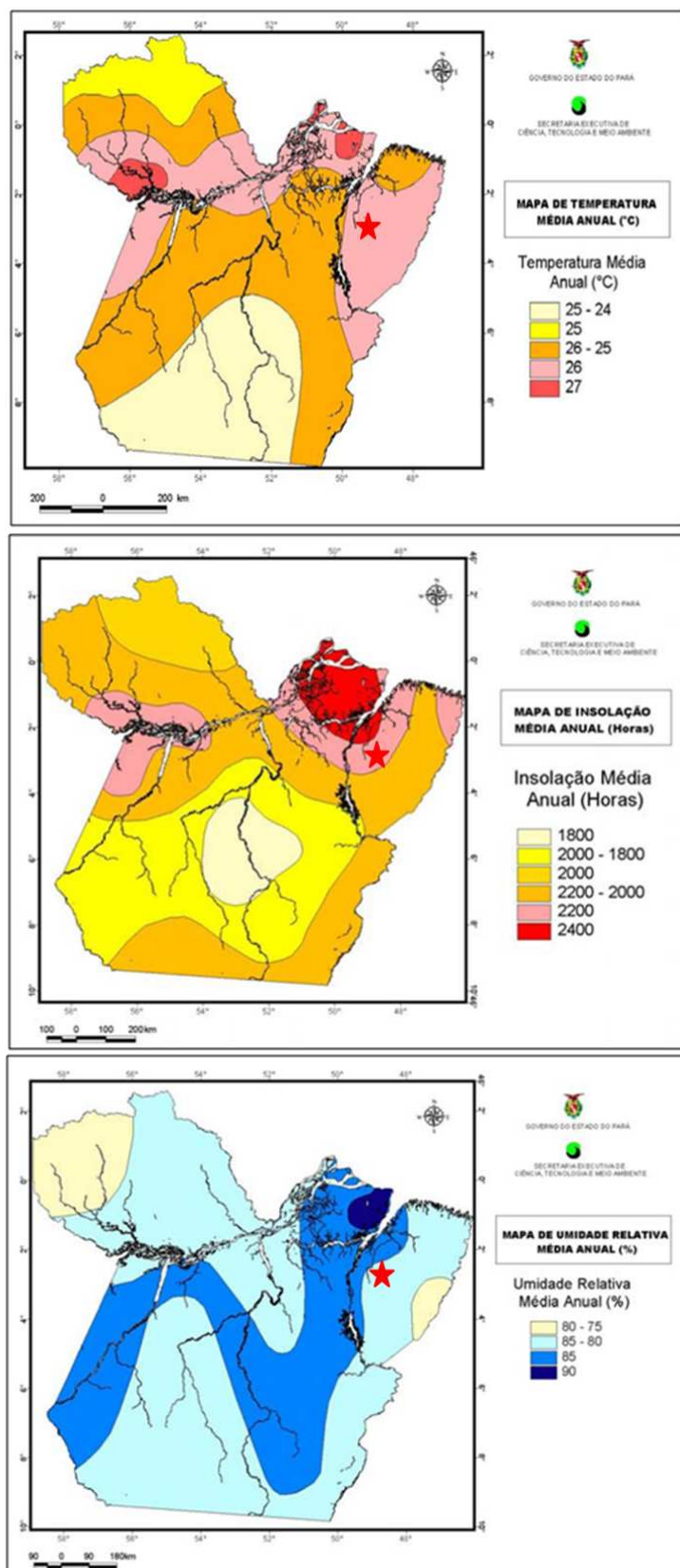


Figura 3.4. Mapas de temperatura, insolação e umidade relativa média anual para o estado do Pará.
Fonte: SECTAM/PARÁ (2009)

O clima é mesotérmico e úmido – ami, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual situa-se em torno de 26°C e precipitação em 2300mm. As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano e os totais médios mensais variam entre 54mm (agosto) e 440mm (março), mas no trimestre mais chuvoso (fevereiro, março e abril), os totais médios mensais ultrapassaram 300mm. No trimestre menos chuvoso (agosto, setembro e outubro), os totais mensais situam-se entre 54,7mm e 72,4mm. A umidade relativa do ar gira em torno de 85°C (SECTAM/PARÁ, 2009). Na Figura 3.5, são apresentadas as precipitações mensais de 2005 a 2008 (período dos trabalhos de campo) para a região de Tomé-Açu (Embrapa, 2008).

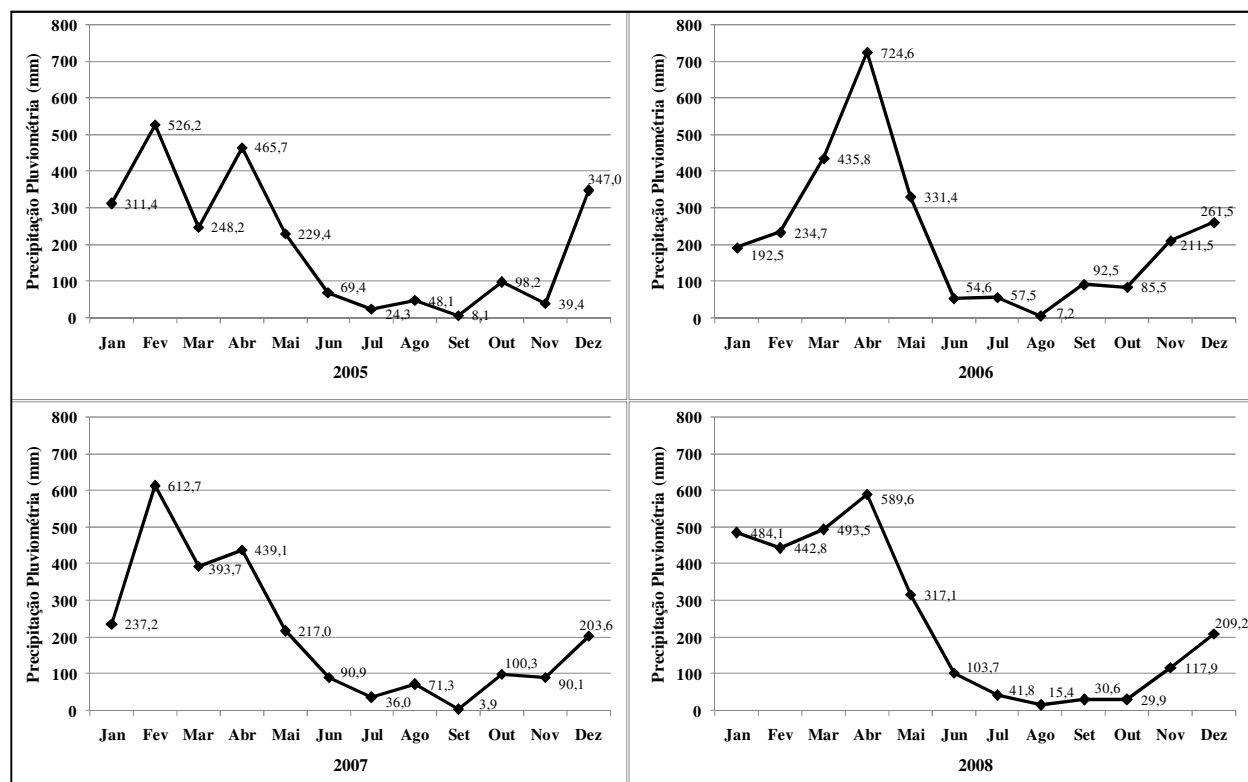


Figura 3.5. Totais mensais de precipitação pluvial em Tomé-Açu, PA de 2005 a 2008.

Fonte: Embrapa (2008).

As precipitações totais foram de 2415,4mm (2005), 2689,3mm (2006), 2495,8mm (2007) e 2875,6mm (2008). Nesse período, houve excedente de precipitação em relação à média histórica da região, com destaque para o volume total da precipitação ocorrida em 2008, cerca de 20% superior a 2005. Segundo Embrapa (2008), este fato pode estar associado ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZICT), próximo à costa norte do Brasil, e à formação de linhas de instabilidade. Esses sistemas foram os principais responsáveis pelos totais de chuvas acima da média climática sobre parte da Região Norte nesse período.

3.2. Aspectos Histórico-Culturais

Os primeiros habitantes da região do Rio Acará-Mirim foram identificados como Tembés, cujas tribos cultivavam agricultura de subsistência. Faziam parte da nação Tenetehara, que em tupi guarani significa “nós somos gente verdadeira”, os quais partilhavam com os índios Guajará do Estado do Maranhão a mesma língua e tradição cultural (Tomé-Açu, 2007). O primeiro homem branco a ocupar a região de Tomé-Açu foi o português José Maria de Carvalho. Esta ocupação ocorreu durante o período histórico da realização das explorações portuguesas em direção ao interior do Estado do Grão-Pará e Maranhão, sendo utilizado como via de penetração o próprio curso dos rios.

Ao percorrer o rio Acará, a conjugação de alguns fatores - facilidade de navegação, fertilidade das terras e abundância de madeiras de lei – foi responsável pela decisão lusitana de fixar colonos naquela região, iniciando-se assim o primeiro comércio de madeira na foz do Rio Tomé-Açu (SEPOF, 2007). Em 1840, a Lei de nº 53, de 4 de setembro, determinou a divisão do território banhado pelo rio Acará. Uma parte desse território constituiu a Freguesia de São José de Acará. A outra parte compôs a Freguesia de Nossa Senhora da Soledade de Cairary, criada, também, pelo mesmo ato legal. O dinamismo e o desenvolvimento da região, sobretudo da Freguesia de São José, levaram o Legislativo Provincial a elevá-la à categoria de Vila, com o nome de São José do Acará, instalada em 1876. Tomé-Açu foi um povoado do município de São José do Acará, desconhecendo-se seu nome original, assim como a data de sua elevação à Freguesia e, posteriormente, a Distrito (SEPOF, 2007). O nome do município tem origem na existência de um índio Tuxaua, da raça Tapuia, da tribo Tembé, que se chamava Tomé e era de elevada estatura, o qual, na linguagem indígena, significa Açu. Então, popularmente, o chamavam de Tomé-Açu. Esse nome inicialmente foi atribuído ao maior igarapé da cidade e posteriormente passou a ser o nome do município.

Conforme Yamada (2009), a primeira imigração japonesa para a Amazônia Brasileira, com cerca de 400 a 500 pessoas, ocorreu no início do século 20, pelas fronteiras com o Peru e a Bolívia. Eram “fugitivos” de haciendas peruanas, onde haviam trabalhado como colonos desde 1899. Passando pelos Andes e pela cabeceira do Rio Amazonas, alguns desses imigrantes tornaram-se seringueiros no Ciclo da Borracha (1850 a 1910), enquanto outros se estabeleceram próximo a cidades e dedicaram-se à produção de legumes que eram escassos na região tropical.

Na década de 20, a economia na região amazônica estava em decadência em função do êxito das plantações de seringueiras nas colônias britânicas na Ásia. Assim, os governos do Amazonas e

do Pará ofereceram incentivos e concessões ao capital nacional e estrangeiros que estavam sob impacto da depressão econômica do pós-guerra e buscavam opções rentáveis de investimentos.

Segundo Yamada (2009), tais ofertas chamaram a atenção imediata do governo japonês, que naquela época enviava anualmente dezenas de milhares de emigrantes contratados por fazendas estrangeiras para financiar a modernização japonesa. Porém, as cotas de imigração haviam sido diminuídas por motivo da discriminação racial para os principais destinos (Hawaii, Califórnia e São Paulo). Assim, o governo japonês enviou missões, que se dirigiram à região para identificar áreas melhores para instalar colônias agrícolas e, a partir delas, dinamizar a economia, através do desenvolvimento de novas culturas e práticas de cultivo (Homma, 1998, 2003).

Inúmeros grupos e indivíduos provenientes do Japão obtiveram concessões e lotes na região, numa extensão que somava 2,5 milhões de ha, nas décadas de 20 e 30 sendo que o primeiro empreendimento desses imigrantes foi o cultivo de guaraná (Maués, AM) em 1928. Nesse mesmo ano, a companhia norte-americana Ford iniciou seu plantio de seringueira, numa concessão de 1,5 milhões de hectares, ao sul de Santarém (PA), no intuito de enfrentar o monopólio da borracha mantido pela Inglaterra (Yamada, 2009).

Em 1929, ocorre a fundação da colônia japonesa em Tomé-Açu, numa concessão de um milhão de hectares cedida pelo governo paraense à Companhia Nipônica de Plantação do Brasil. Yamada (2009, p. 693) destaca que:

Criada pela política nacional do Japão, a companhia teve como sua missão principal implantar um projeto de desenvolvimento rural na Amazônia, mais próspero que os que vinham sendo implantados pela Ford dos EUA, onde a imigração japonesa foi excluída em 1924.

A área denominada Fazenda Bela Vista passou à Companhia, que instalou campo experimental colecionando diversas espécies arbóreas a fim de identificar os cultivos permanentes ideais na Amazônia, sendo o cacau como um dos focos iniciais. Dessa forma, em 22 de setembro de 1929, a bordo do navio Montevideu Maru (Figura 3.6) as primeiras 43 famílias (189 pessoas das 2155 que viriam) enviadas pela Nambei Takushoku Kabushiki Kaisha (Nantaku) aportam no atracadouro de Tomé-Açu pelo rio Acará-Mirim. Em 1934, duas mudas de pimenta-do-reino trazidas de Singapura foram estabelecidas no campo experimental da Companhia em Tomé-Açu.

Essas famílias vieram amparadas por certo volume de capital, assim como, por uma tradição milenar na agricultura, porém, encontraram grandes dificuldades para se manterem na colônia por problemas com o sistema de manejo do cacau (sem sombreamento,) o que ocasionou

grandes perdas de produtividade, e em relação à adaptação ao clima e às doenças tropicais. Visando o fortalecimento dos agricultores, foi criada a Cooperativa de Verduras de Acará (CAMTA, 1999). Em 1941, apenas 220 pessoas, ou seja, em torno de 10% delas, continuavam na colônia. Conforme Yamada (2009), a maioria se deslocou para a periferia de Belém e para o Sul do Brasil, em função do grande número de mortes por malária no interior.

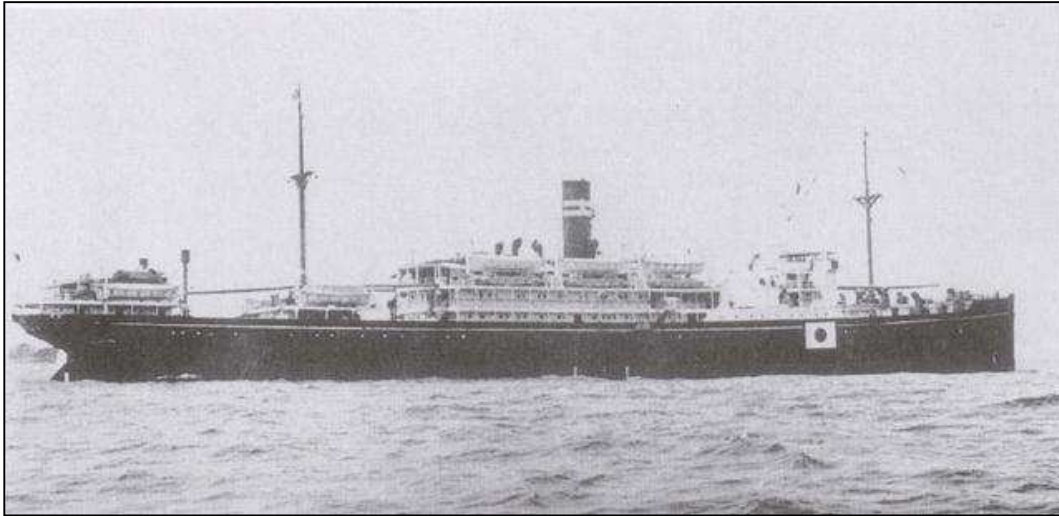


Figura 3.6. Navio Montevidéu Maru (1929).

Fonte: JAPÃOBRASIL, 2007.

Durante a Segunda Guerra Mundial, os imigrantes japoneses perderam todas suas concessões na Amazônia e tiveram seus bens confiscados, sendo que o Governo Brasileiro transformou a área de Tomé-Açu em campo de concentração. Com a vitória dos aliados e, consequentemente, o fim da guerra, a Fazenda Bela Vista foi transformada em Colônia Estadual de Tomé-Açu (Tomé-Açu, 2007). Os imigrantes japoneses uniram-se e formaram uma sociedade, denominada de Sociedade Agrícola e Industrial de Acará – SAIA. Após a segunda Guerra Mundial, a colônia japonesa viveu um período de dificuldades elevadas, conseguindo permanecer ativa com o cultivo da pimenta-do-reino e com a criação da União dos Lavradores em 1946, formada por 17 membros que continuavam em atividade. Em 1949, a partir dos sócios da União, foi fundada a Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu, contando inicialmente com 76 associados (CAMTA, 2007) (Figura 3.7). No período de pós-guerra, a partir de 1953, a imigração japonesa reiniciou, sendo que Tomé-Açu recebeu 2100 novos imigrantes.

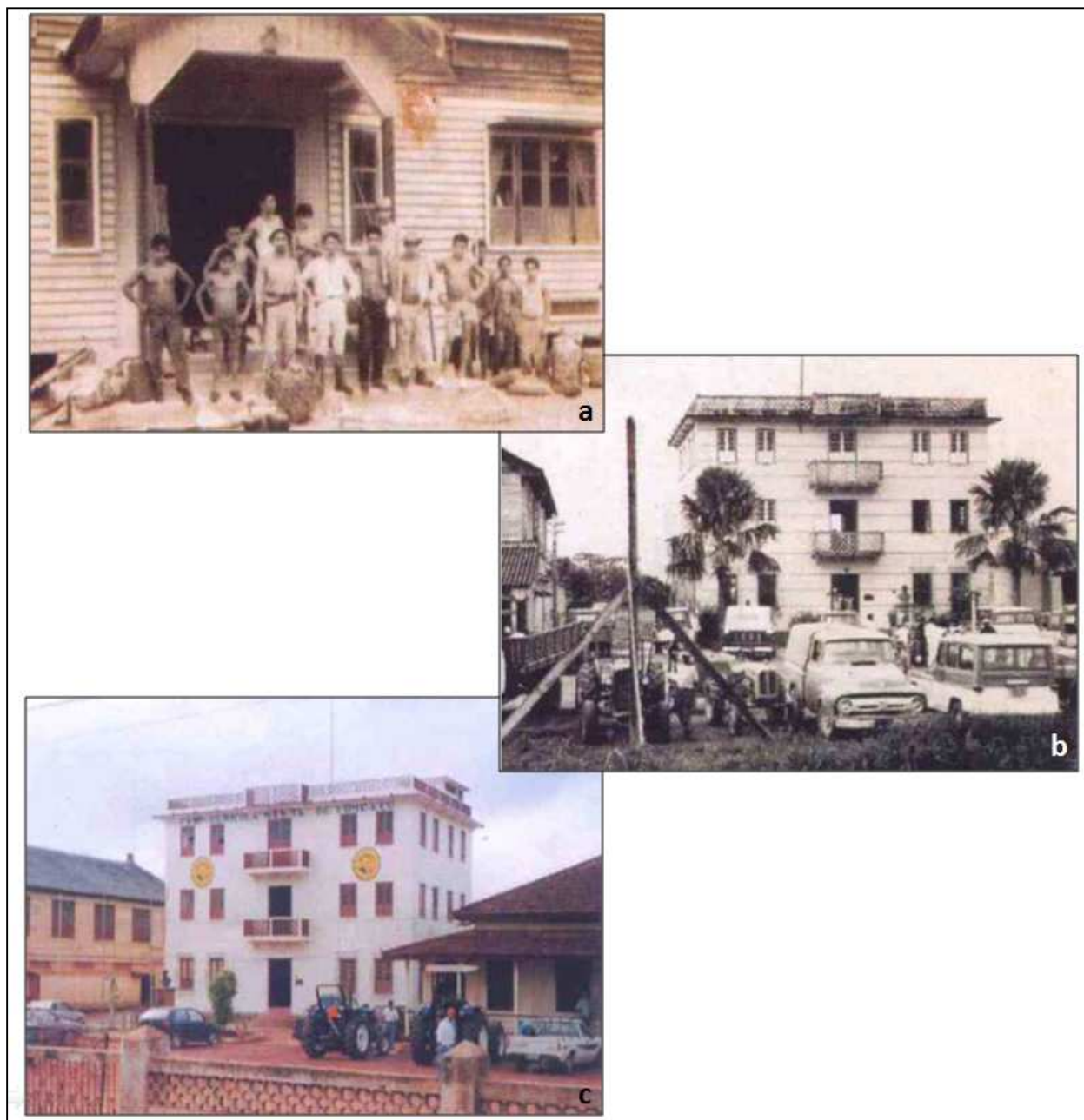


Figura 3.7.(a) Cooperativa de Hortaliças (1931) (b) Sociedade Agrícola e Industrial de Acará (1946) e (c) Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (1949).
Fonte: CAMTA, 2007.

Nas décadas de 40 e 50, o abastecimento de pimenta do reino no mundo diminuiu significativamente em função das guerras no sudeste asiático, e os agricultores de Tomé-Açu aproveitaram os preços altos no mercado mundial para intensificar sua produção, o que culminou com o chamado ciclo do “diamante negro”. Em 1960, o Brasil já produzia 7% da pimenta mundial, sendo que a CAMTA contribuía com 80% desse total (Yamada, 2009). Contrário a

euforia desse período, o Presidente da CAMTA, Sr. Hiraga⁶, advertia os agricultores cooperados sobre a necessidade de diversificar os sistemas produtivos para evitar o risco do mercado e para não quebrar a cadeia de equilíbrio do agroecossistema (Yamada, 1999).

Na década de 60, o preço da pimenta oscilou no mercado mundial e a partir de 1970, houve o declínio do ciclo da pimenta-do-reino, acentuado por questões fitossanitárias (fusariose). A CAMTA buscou novos cultivares de pimenta em países da Ásia e Américas do Sul e Central e com apoio da JAMIC⁷ intensificaram a assistência técnica aos imigrantes na busca de novas espécies e alternativas de produção. Segundo Homma (1998), a saída dos imigrantes dessa “crise ecológica” foi a diversificação das atividades a partir da década de 70, destacando-se a fruticultura, em especial, mamão hawái, melão, acerola, laranja, dendê, cupuaçu, maracujá, entre outras fruteiras nativas e exóticas, o que gerou um novo ciclo econômico para a região. A diversificação das culturas foi associada a um novo sistema de produção, o sistema agroflorestal, o qual se desenvolveu a partir de inúmeras “experimentações” locais, gerando diferentes arranjos produtivos com as diferentes espécies e promovendo a inserção dos produtores rurais em novos mercados. Yamada (2009, p. 698) destaca que:

Assim evoluiu a agrofloresta de Tomé-Açu, num processo paralelo à sucessão secundária da floresta natural, sendo que a biomassa de alguns plantios consorciados, de 25 anos de idade, atingiram entre metade e dois terços da biomassa de florestas primárias. Nesses plantios maduros associados ao cacaueteiro, as árvores altas para serviços múltiplos (*multipurpose trees*), consorciadas para sombreamento definitivo, também produzem frutas, nozes, óleos, látex, etc. e seus troncos, com diâmetro a altura do peito (DAP) entre 50 e 60cm, já alcançam potencial para serraria. Por experimentação empírica, mediante tentativas e ajustes, os agricultores nikkeis desenvolveram vários tipos de consórcios nos seus SAF's sucessionais. Ao final de 1996, estavam instalados nos campos principais de 6600 ha (excluindo quintais), 70 espécies arbóreas em 300 combinações diferentes.

Homma (2004) aborda a dinâmica dos sistemas agroflorestais na colônia agrícola de Tomé-Açu em diferentes ciclos, os quais podem ser resumidos em oito fases, conforme descrito no Quadro 3.1.

⁶ Renkichi Hiraga (1902 – 1985). Formado em Ciências Florestais pela Universidade de Tóquio. Filho do fundador da Companhia Nipônica de Plantação do Brasil. Ex-presidente da CAMTA.

⁷ Imigração e Colonização Ltda. Corporação pública japonesa.

Quadro 3.1. Fases e características da dinâmica dos sistemas agroflorestais da região de Tomé-Açu, PA.

Fonte: Adaptado Homma (2004).

Fases	Período	Principais Características
Primeira	1933 - 1950	- Introdução da cultura da pimenta do reino - Monocultivos de plantios exclusivos dos nipo-brasileiros - Apogeu econômico no mercado internacional pós-guerra - Início da mecanização da agricultura e utilização de NPK
Segunda	1957 - 1970	- Democratização do cultivo da pimenta em outras regiões - Aparecimento do <i>Fusarium</i> - Redução da vida útil dos pimentais - Mudança espacial das áreas de plantio em função do <i>Fusarium</i>
Terceira	1970 - 1978	- Interesse em diversificação de atividades - Implantação de mamão hawai, melão, cacau, maracujá e dendê - Política agrícola com elevado crédito rural - Permanência do <i>Fusarium</i> e produção crescente da pimenta
Quarta	1978 - 1982	- Brasil é o maior produtor/exportador mundial de pimenta (1982) - Preços da pimenta sofrem redução - Elevação dos custos de insumos agrícolas e diminuição do crédito - Adoção de pecuária e culturas alimentares
Quinta	1982 - 1987	- Manutenção dos baixos preços da pimenta no mercado - Altas taxas inflacionárias estagnando os grandes produtores - Decréscimo na produção e exportação da pimenta - Elevada produção de cacau e mamão hawai
Sexta	1987 - 1991	- Quadro nacional recessivo - Estagnação da produção de pimenta nos médios e grandes produtores - Expansão dos pimentais em pequenas propriedades - Apesar dos contrastes, Brasil tem produção e exportação recorde (1991)
Sétima	1991 - 1999	- Nova crise com redução dos preços internacionais da pimenta - Rigor ambiental, diminuindo as áreas de expansão dos pimentais - Visibilidade nacional e internacional das frutas da Amazônia - Produções locais recordes de maracujá e acerola
Oitava	A partir de 2000	- Novas áreas de pimentais incorporando outras culturas - Estabelecimento de inúmeros SAF (cacaueiro, cupuaçu, açaí, maracujá) - Elevação da exportação de polpa de frutas (cupuaçu e açaí) - Novas alternativas com expansão de frutas como o bacuri e uxi.

O município de Tomé-Açu⁸ ainda hoje é conhecido como a “*A terra da Pimenta*”, pelo fato que esse cultivo elevou a região e o Brasil, pela primeira vez, à condição de grande produtor mundial de pimenta-do-reino. Importantes festas religiosas são realizadas: a Festa de Santa Maria, na sede municipal, e a de São Francisco Xavier, na localidade de Quatro Bocas. Além dessas festas religiosas, dois outros eventos relevantes marcam o ano da população local: as festas juninas, com a apresentação de todos os folguedos da época, e a festa da Associação dos Agropecuários do Vale do Acará, onde são expostos e vendidos produtos (agropecuários e artesanais) da região, assim como a realização da Undokai - uma corrida introduzida pelos imigrantes japoneses com diversas modalidades.

Atualmente, são conduzidas no município inúmeras áreas com sistemas agroflorestais, sendo esta a alternativa de produção encontrada em relação ao declínio do preço da pimenta-do-reino e a excessiva incidência de doenças nessa cultura, mantendo o desenvolvimento da região. Os sistemas agroflorestais implantados possuem grande variedade de espécies frutíferas e madeiras, destacando cacau, cupuaçu, açaí, acerola, graviola, maracujá, dendê, andiroba, bacuri, castanha-do-pará, ipê, mogno, sapucaia, uxi, plantas cítricas, pimenta-do-reino, cedro, freijó e paricá.

Os sistemas agroflorestais estão inseridos e presentes no desenvolvimento regional de forma relevante. Essa região que teve seu apogeu e declínio econômico baseado na cultura da pimenta-do-reino assistiu a um novo ciclo econômico iniciado por meio dos sistemas agroflorestais com diferentes espécies frutíferas nativas e exóticas. A organização da CAMTA em parceria com a JICA⁹ proporcionou ainda o estabelecimento da fábrica experimental de polpas de frutas da colônia em 1987 para 40 toneladas/mês a qual produz atualmente em torno de 2.400ton./mês (CAMTA, 2009). Essa dinâmica agricultor/CAMTA/agrofloresta/mercado potencializou a economia regional estabelecendo inclusive padrões peculiares de uso e cobertura das terras (Figura 3.8).

⁸ Em 1952 os habitantes de Tomé-Açu iniciaram um movimento de emancipação do município de Acará. O Governo Estadual, através da Lei nº 1.127 de 10 de maio de 1955, autorizou a criação do município de Tomé-Açu. Porém, em outubro de 1955, o Supremo Tribunal Federal considerou esta Lei como inconstitucional. A decisão reiniciou vários movimentos políticos objetivando o restabelecimento de Tomé-Açu, e, em 17 de março de 1959, o Governo do Estado promulgou uma nova Lei (nº 1.725) que elevou novamente para a categoria de município. No dia 1º de setembro de 1959, foi instalado oficialmente o município de Tomé-Açu (Tomé-Açu, 2007).

⁹ Agência de Cooperação Internacional do Japão.



Figura 3.8. Propriedade baseada em sistemas agroflorestais, Tomé-Açu, 2005.
Fonte: Batistella, 2005.

A região ainda é marcada por conflitos de usos da terra em diferentes sistemas de produção no meio rural, existindo áreas de agricultura e pecuária empresarial (soja e bovinocultura) (Figura 3.9) em contraste com propriedades baseadas na agricultura de subsistência (Figura 3.10).



Figura 3.9. Propriedade baseada na agricultura e pecuária, Tomé-Açu, 2005.
Fonte: Batistella, 2005.



Figura 3.10. Propriedade baseada na agricultura de subsistência, Tomé-Açu, 2008.
Fonte: Bolfe, 2008.

A exploração madeireira (Figura 3.11) ainda é presente na região, assim como a produção de carvão vegetal (Figura 3.12), além da crescente urbanização e pavimentação da via (Figura 3.13) que serve de acesso a região de Paragominas, PA.



Figura 3.11. Propriedade baseada na exploração vegetal, Tomé-Açu, 2008.
Fonte: Bolfe, 2008.



Figura 3.12. Propriedade baseada na produção de carvão vegetal, Tomé-Açu, 2008.
Fonte: Bolfe, 2008.



Figura 3.13. Núcleo urbano do Distrito de Quatro Bocas, Tomé-Açu, 2008.
Fonte: Bolfe, 2008.

Neste contexto, criam-se oportunidades, onde a presente proposta de pesquisa subsidia uma tendência de desenvolvimento regional, que é fundamentado na associação dos sistemas agroflorestais e suas características sócio-ecológicas como serviços ambientais, sendo passíveis de mensuração e de formas de alocação de recursos para intensificação de novas áreas com esse sistema de produção para o município e a região.

A dinâmica da vida social, econômica e cultural do distrito de Quatro Bocas (Figura 3.14) em Tomé-Açu gira em torno da atividade agrícola e da CAMTA. Os sistemas de produção implantados tiveram forte influência na construção da história social e econômica da região. Deve-se à organização e à determinação dos imigrantes japoneses, a criação da CAMTA, que chegou a ser considerada a melhor do ramo no Pará e uma das mais importantes do Brasil. A comunidade associada e não-associada reconhece que, desde a sua fundação, ela teve como foco de suas preocupações, o estabelecimento de programas voltados à saúde, educação e lazer. No cumprimento destes propósitos, a Cooperativa passou a manter hospital, postos de saúde e escolas, assim como, patrocinar atividades sociais e esportivas, além de suas atribuições principais como a promoção da agricultura, tecnificação dos agricultores e assessoria de natureza creditícia, econômica e comercialização dos produtos por eles cultivados (Tomé-Açu, 2007).

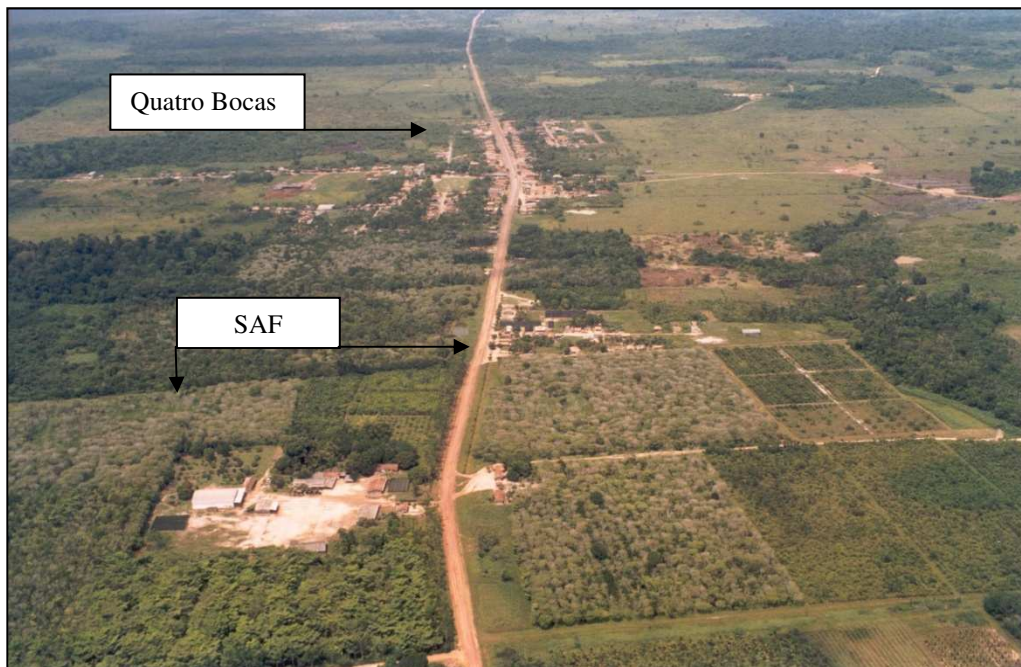


Figura 3.14. Propriedades baseadas em SAF e sede do Distrito de Quatro Bocas, Tomé-Açu, 2005.
Fonte: Batistella, 2005.

Conforme Smith et al. (1998), algumas das peculiaridades da comunidade de Tomé-Açu explicam em parte o sucesso do desenvolvimento da região. Entre eles, a forte associação de produtores engajados não só na produção, mas, também, na comercialização dos produtos gerados e o nível de educação maior que a média regional. Dessa forma, atualmente, no entorno de Tomé-Açu, vários outros produtores estão adotando sistemas agroflorestais diversificados similares ao da comunidade japonesa, o que indica que o sistema pode ser reproduzido com sucesso. Menezes et al. (2004) estudou a influência da colônia nipo-brasileira na formação dos sistemas agroflorestais dos pequenos agricultores familiares de Tomé-Açu, concluindo que apesar do modelo dos colonos nipo-brasileiros não ser passível de generalização para a Amazônia, esta replicação e adaptação pelos pequenos produtores, denota a influência dos imigrantes japoneses nos SAF's adotados. Ressalta ainda que este aprendizado ocorreu ao longo do tempo, através do trabalho em propriedades dos agricultores nipo-brasileiros, a observação das atividades orientadas pelo mercado e do seu dinamismo, a criação da infra-estrutura local em termos de mercado de insumos e produtos e da concretização e construção do imaginário, como o plantio de castanheiras, andiroba, cumaru, uxi e pau-rosa, entre outras.

3.3. Aspectos Sócio-Econômicos

A população total residente de Tomé-Açu é de 47.081 habitantes, sendo 27.161 a população urbana e 19.920 a rural. A densidade populacional em 2006 era de aproximadamente 10hab/km², sendo o IDH=0,676, o PIB R\$ 169.226.321,00 e o PIB per capita de R\$ 3.410,31 (IBGE, 2007).

A agricultura ainda é a base da economia do município e atualmente, além da pimenta-do-reino, que começa a tomar força novamente após seu declínio, a fruticultura, em grande parte desenvolvida pelos nipônicos oriundos da colonização, adquiriu maior relevância econômica, tendo como destino além de inúmeros estados Brasileiros, América do Norte e Comunidade Européia. No município, são cultivadas e industrializadas por meio da CAMTA (principalmente na forma de polpa) várias frutas tropicais nativas e exóticas, destacando-se: açaí (*Euterpe oleracea*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), graviola (*Anona muricata*), maracujá (*Passiflora edulis*), caju (*Anacardium occidentale*), abacaxi (*Ananas comosus*), taperebá (*Spondias mombin* L.), goiaba (*Psidium guajava*), acerola (*Malpighia glabra*), murici (*Byrsonima crassifolia*), cacau (*Theobroma cacao*) e carambola (*Averrhoa carambola*).

Outras atividades de grande relevância para o município são a industrialização da madeira e a pecuária. Na pecuária, tem destaque a criação de aves com rebanho de 50.000 cabeças e bovinos com rebanho de 189.000 cabeças (IBGE, 2007).

Atualmente , a Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu possui 243 produtores associados (CAMTA, 2009) os quais 100% trabalham com sistemas agroflorestais. Homma (1998) destaca que o sucesso do desenvolvimento da colônia nipo-brasileira do Município de Tomé-Açu deve-se à elevada experiência dos agricultores nipo-brasileiros, à sua mentalidade inovadora, a visão holística de mercados futuros e o espírito associativista que permitiu a criação da CAMTA, fundada em 1931, para vender hortaliças e assegurar a sua sobrevivência.

Nessa evolução sócio-econômica, diferentes composições de SAF foram implantadas pelos agricultores, incluindo diferentes espécies de ciclo curto, médio e longo. Yamada e Gholz (2002) realizaram um estudo profundo sobre o desenvolvimento econômico regional de Tomé-Açu baseado nos sistemas agroflorestais, identificando e valorando a produção das diferentes composições em SAF. Dessa forma, encontram-se áreas com inúmeros estágios de desenvolvimento: a) Inicial (1 a 2 anos de implantação), b) Intermediário (2 a 10 anos) e c) Avançado (acima de 10 anos de implantação).

Yamada e Gholz (2002) destacam que os sistemas agroflorestais verificados em Tomé-Açu são uma resposta sustentável possível ao crescente processo de conversão de florestas em pastagens na Amazônia. Ressalta ainda que além da elevada geração de empregos na região, a renda obtida pelos agricultores nipo-brasileiros em suas áreas, que variam de 10 a 20 ha, é comparável à renda de fazendeiros que utilizam de 400 a 1200 ha de terra como pastagem, proporcionando a manutenção da população no meio rural e a conservação de remanescentes florestais na Amazônia brasileira. Neste sentido, buscando valorizar ainda mais os SAF da região por meio dos serviços ambientais, apresenta-se no capítulo posterior as bases conceituais do Sensoriamento Remoto (SR) para análise do uso e cobertura da terra e mensuração indireta do carbono fixado pelos sistemas agroflorestais, sendo discutidos aspectos conceituais e metodológicos da principal fonte de dados utilizados nesta pesquisa, ou seja, dados obtidos por meio do sensoriamento remoto e sua relação com o comportamento espectral da vegetação.

4. ESTIMATIVA DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS POR MEIO DO SENSORIAMENTO REMOTO

4.1. Comportamento Espectral da Vegetação

O sensoriamento remoto é entendido como um processo de obtenção de informações sobre um objeto, área ou fenômeno por meio da análise de dados obtidos à distância, por instrumentos que não se encontram em contato com o objeto, área ou fenômeno em estudo (Landgrebe, 1978; Lillesand e Kiefer, 1987; Asrar, 1989; Mather, 1999; Liu, 2006; Jensen, 2009). Estes instrumentos podem ser sensores a bordo de satélites operando em órbita da Terra, os quais coletam a radiação eletromagnética (REM) refletida e/ou emitida pela superfície terrestre.

O Sol constitui-se na mais importante fonte de radiação natural para a Terra. A REM pode ser definida como sendo a forma de energia que se move à velocidade da luz, sendo em forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas, não necessitando de um meio material para se propagar no espaço. Em sensores remotos passivos, bases dessa pesquisa, a principal fonte de REM é o Sol, sendo utilizada nos estudos sobre recursos naturais. Essa energia propagada através da atmosfera, sofre modificações em sua intensidade e distribuição espectral (Szekiela, 1988) e ao alcançar a superfície da Terra, interage com as feições dessa superfície, podendo ocorrer três processos distintos: absorção, reflexão e transmissão (Szekiela, 1988; Jensen, 2009). Dessa forma, a fração de energia refletida e/ou emitida pela superfície terrestre voltará a atravessar a atmosfera, havendo novas interações e atingirá o sensor remoto em órbita terrestre gerando as imagens de satélite (Lillesand e Kiefer, 1987).

Além da análise da distribuição geográfica dos recursos naturais, inúmeros outros aspectos, em especial características fisiológicas e ecológicas da vegetação, vêm sendo estudados por meio das imagens de satélite, principalmente no que tange às possibilidades de análise das propriedades e características ambientais dessa cobertura vegetal por meio da resposta espectral. A efetiva utilização dos dados de sensores remotos requer o conhecimento e a compreensão das características espectrais das várias feições terrestres e dos fatores que influenciam estas características (Hoffer, 1978; Novo, 1989; Ponzoni e Shimabukuro, 2007; Jensen, 2009). Esta compreensão envolvendo energia eletromagnética e matéria pode ser elementar para alguns materiais e inexistentes para outros, lembrando ainda que a caracterização espectral de um objeto, área ou fenômeno não depende apenas da composição do alvo, mas também das condições em que é realizada (Lillesand e Kiefer, 1987).

4.1.1. Vegetação e a Radiação Eletromagnética

A cobertura vegetal tem sido tema de inúmeros estudos ao longo da história, utilizando diversas abordagens e envolvendo aspectos botânicos, fitossociológicos, taxonômicos e fisiológicos. Um dos objetivos principais nos estudos sobre a vegetação é o monitoramento das condições fisionômicas, fisiológicas e das mudanças observadas em determinada área ocupada por cobertura vegetal (Jackson e Huete, 1991), as quais se expressam pelas modificações ocorridas no processo de interação energia/matéria.

Quando se tem como objetivo discutir e compreender a interação da REM com a vegetação, seja área agrícola, campo ou floresta, é imprescindível a análise dos indivíduos que constituem a comunidade vegetal a ser estudada, ou seja, as plantas. Desde a descoberta que os vegetais obtêm da REM emitida pelo Sol parte da energia que necessitam para viver, a interação entre essa radiação e a vegetação passou a ser estudada detalhadamente. Vários estudos aprofundados sobre as propriedades espectrais de folhas e dosséis têm sido realizados, discutidos e demonstrados tais como: Gates et al., 1965; Kumar, 1972; Colwell, 1983; Goel, 1988; Salisbury e Ross, 1992; Hall e Rao, 1994; Ponzoni e Shimabukuro, 2007; Jensen, 2009. Assim, almeja-se aqui, rever os processos principais de interação da vegetação com a REM.

O sensoriamento remoto é uma das tecnologias que vêm contribuindo e motivando o avanço nos conhecimentos de como a vegetação interage com a radiação eletromagnética. No monitoramento da vegetação, é comum a utilização de sensores eletro-ópticos, que geram imagens multiespectrais a partir da detecção da energia refletida pelos alvos existentes na superfície terrestre, em faixas específicas do espectro eletromagnético, principalmente nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo, sendo aquelas onde a vegetação interage mais intensamente com a radiação solar incidente (Nobel, 1999).

Ao utilizar dados de sensoriamento remoto para estudo de determinado objeto ou fenômeno terrestre, deve-se ter em mente a existência de uma série de variações na REM ocasionadas pela fonte de energia, pelo meio em que a energia é propagada, pelos alvos imageados e pelo sistema sensor que capta a energia proveniente do alvo (Moreira e Assunção, 1984). De acordo com Ponzoni (2001, p.159):

A aparência da cobertura vegetal em determinado produto de Sensoriamento Remoto é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. O que é efetivamente medido por um sensor remoto, oriundo de

determinada vegetação, não pode ser explicado apenas por suas características intrínsecas, inclui também a interferência de vários outros fatores, como: a) a fonte de radiação, que inclui a irradiância espectral, a localização do ângulo zenital e azimutal solar; b) a atmosfera, caracterizada por uma série de propriedades e parâmetros, incluindo as concentrações espacialmente dependentes e as propriedades seletivas de absorção e de espalhamento dos diversos comprimentos de onda por parte dos constituintes da atmosfera (como vapor d' água, ozônio e aerossóis); c) o dossel, cujas características se dão por várias propriedades e parâmetros ópticos (refletância e transmitância), estruturais (formas geométricas e posicionamento dos componentes da vegetação: folhas, galhos, frutos e flores), geométricos e ambientais (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação), d) do solo, que também é caracterizado por uma série de propriedades e parâmetros tais como refletância, absorvância, rugosidade superficial, textura e umidade e e) do detector, caracterizado por uma série de propriedades e parâmetros, como a sensibilidade espectral, abertura, calibração e posicionamento espacial.

Moreira (2003) destaca que na planta se processam todas as atividades físico-químicas e biológicas, além de ser a menor unidade de vegetação que irá interagir com a radiação solar. O aprimoramento do conhecimento da interação da REM com a vegetação tem ocorrido pela realização de estudos do Comportamento Espectral da Vegetação, termo que tem sido utilizado frequentemente para representar as características de refletância da REM, pelas folhas, plantas individuais e conjunto de plantas (Ponzoni, 2001).

À REM estão associados os conceitos de refletância, transmitância e absorvância espectrais, sendo necessário, para o estudo de vegetação através do sensoriamento remoto, o conhecimento da interação da REM em termos desses três fenômenos físicos. A interação da radiação com a vegetação é dada principalmente pelas folhas, órgãos vegetais especializados na absorção da REM e onde o processo de fotossíntese é realizado (Kummar, 1972, Salisbury e Ross, 1992; Jensen, 2009).

Porém, nem toda radiação incidente em uma planta tem efeito sobre ela. As radiações eletromagnéticas, cujos comprimentos de onda são capazes de induzir uma resposta fisiológica na planta, ou seja, capaz de provocar uma reação fotoquímica, são denominadas radiação fisiologicamente ativa (Moreira, 2003). Quando a radiação solar incide sobre uma folha da planta, sua energia interage e resulta em três frações: refletida, absorvida e transmitida (Mather, 1999, Ponzoni, 2001; Liu, 2006; Jensen, 2009). Ou seja, da radiação solar que chega a superfície da Terra (radiação global), ao atingir a planta, uma parte (aproximadamente 50%) é absorvido

pelos pigmentos contidos na folha, parte dessa radiação é refletida pelas folhas, fenômeno denominado de reflexão, e outra parte passa pelo processo de transmissão, por meio das camadas de folhas que compõem a copa e através das camadas que constituem a folha, como a cutícula, parênquima lacunoso e o paliádico (Moreira, 2003).

Na Figura 4.1, são ilustradas as variações da refletância, transmitância e absorptância da radiação solar incidente nas diferentes faixas de comprimento de onda do espectro eletromagnético posteriormente ao processo de interação da REM com uma folha individual.

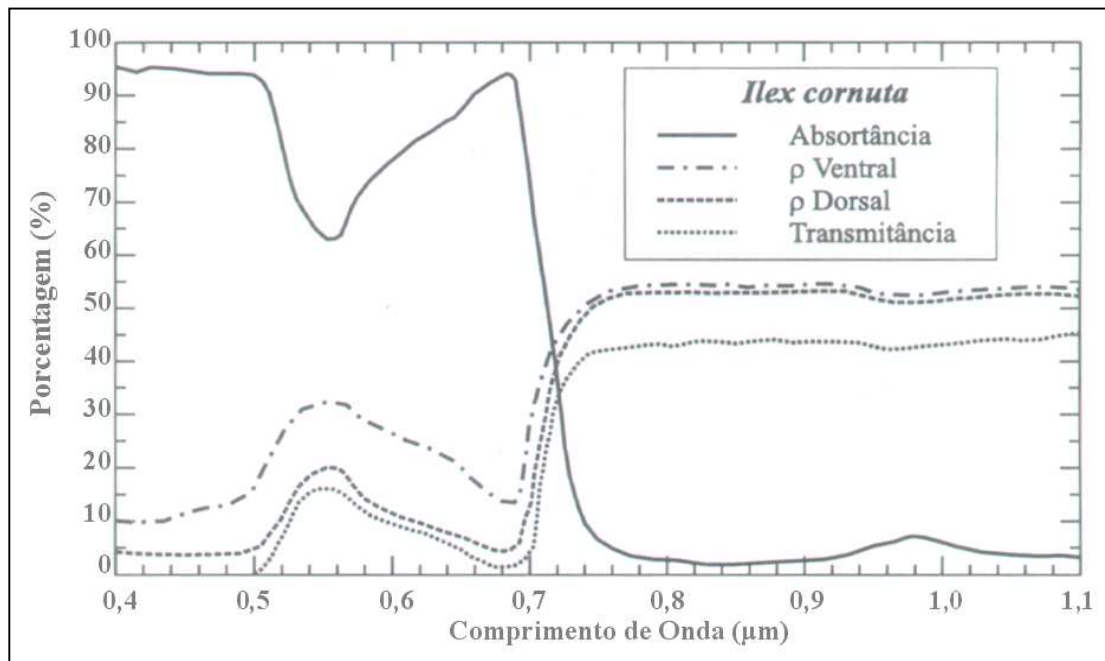


Figura 4.1. Valores médios das frações de radiação solar refletida, transmitida e absorvida após interação com uma folha individual.

Fonte: Adaptado Ponzoni, 2001.

Na Tabela 4.1 são demonstrados os principais processos, reações fotoquímicas, fotorreceptores, picos de absorção e as bandas espectrais em que a radiação é absorvida. Valeriano (1988) destaca que os processos de reflexão especular e de espalhamento não envolvem interações dependentes do comprimento de onda da radiação eletromagnética. Esta, por sua vez, retorna integralmente por estes processos, levando dessa forma poucas informações sobre a folha. O processo pelo qual a energia penetra na folha e sai pelo mesmo lado, trata da reflexão difusa pela folha, objeto principal do estudo do comportamento espectral da vegetação, uma vez que esta radiação que retornou passa por espalhamentos múltiplos no interior da célula e carrega consigo as informações sobre a estrutura e o estado da folha.

Tabela 4.1. Principais reações fotoquímicas das plantas superiores.

Fonte: Adaptado Moreira (2003).

Processo	Reações	Fotorreceptor	Pico do Espectro (µm)	Banda Espectral (µm)
Síntese da Clorofila	Reação da protoclorofila	Protoclorofila	Azul: 0,445 Vermelho: 0,650	0,350 – 0,470 0,570 – 0,670
Fotossíntese	Dissociação da água e redução do CO ₂	Clorofilas e carotenóides	Azul: 0,445 Vermelho: 0,675 Vermelho: 0,650	0,350 – 0,530 0,600 – 0,700 0,630 – 0,690
	Acréscimo da fotossíntese	Clorofilas	Vermelho distante: 0,710	0,690 – 0,730
Reações no Azul	Fototropismo	Carotenóides e flavinas	U.V.: 0,370 Azul: 0,445 – 0,475	0,350 – 0,500
Reações no Vermelho	Germinação da semente, síntese da antocianina, crescimento vegetativo e heterotrófico	Fitocromo	Indução pelo vermelho: 0,660	0,570 – 0,700
			Reversão pelo vermelho distante: 0,710 e 0,730	0,680 – 0,780

Na vegetação fotossinteticamente ativa, pode-se identificar três regiões distintas ao longo do espectro eletromagnético em função dos fatores que condicionam seu comportamento (Novo, 1989, p. 190):

- a) até 0,7 µm, a refletância é baixa (< que 0,2µm), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0,48µm (carotenóides) e em 0,62µm (clorofila). Em 0,56µm, há um pequeno aumento do coeficiente de refletância, não atingindo, porém, níveis superiores a 0,1µm. É a refletância responsável pela percepção da cor verde da vegetação; b) de 0,7µm a 1,3µm, tem-se a região denominada pela alta refletância da vegetação ($0,3 < \rho < 0,4$), devido à interferência da estrutura celular; e c) entre 1,3µm e 2,5µm, a refletância da vegetação é denominada pelo conteúdo de água das folhas. Nessa região encontram-se dois máximos de absorção pela água (1,4µm e 1,95µm).

Considerando o intervalo espectral dividido nas três regiões espectrais anteriormente assinaladas, visível (0,4 μ m a 0,7 μ m), infravermelho próximo (0,7 μ m e 1,3 μ m) e infravermelho médio (1,3 μ m e 2,5 μ m) é possível verificar que algumas regiões do espectro eletromagnético são mais utilizadas e outras frações do espectro não são aproveitadas na fotossíntese. Por exemplo, a região do ultravioleta possui energia muito intensa e pode causar decomposição das moléculas. Já a região do infravermelho não apresenta energia suficiente para causar diminuição sensível na estabilidade das ligações químicas. Dessa forma, apresenta-se a seguir, considerações sobre o comportamento dessas regiões e os principais fatores que condicionam sua utilização no sensoriamento remoto.

4.1.2. Refletância Espectral do Dossel da Vegetação

Estudos aprofundados sobre o comportamento espectral do dossel vegetal têm sido apresentados: Kumar, 1972; Colwell, 1974; Colwell, 1983; Salisbury e Ross, 1992; Hall e Rao, 1994; Silva e Ponzoni, 1995; Moreira, 2003; Liu, 2006; Ponzoni e Shimabukuro, 2007. Dessa forma, realiza-se aqui breves considerações sobre os aspectos fundamentais para a compreensão deste processo. Assim, pode-se considerar que são possíveis duas abordagens no estudo radiométrico da vegetação: a) folhas isoladas e b) dosséis da vegetação. Pelo motivo das folhas serem o principal componente dentro do dossel, sob o ponto de vista do comportamento espectral, algumas considerações abordadas anteriormente sobre as folhas também são válidas para os dosséis (Moreira, 2003).

Estudos sobre a comparação entre a refletância espectral de folhas isoladas e a refletância espectral de dosséis foram apresentados por Silva e Ponzoni (1995). De forma geral, a refletância de folhas isoladas é superior àquela dos dosséis dos quais estas fazem parte. Uma das hipóteses atribuídas a este fato é a presença de sombras no interior do dossel.

Por outro lado, Szekiela (1988) destaca que a refletância de um dossel é maior na região do infravermelho próximo que em uma folha isolada, em função ao efeito aditivo da refletância e transmitância entre as folhas.

Dessa forma, estes resultados aparentemente controversos revelam a complexidade elevada do processo de interação da REM com o dossel da vegetação, onde cada situação deve ser analisada e compreendida por meio de suas características intrínsecas.

As variações na refletância de um dossel dependem da quantidade de folhas existentes no mesmo, de suas orientações espaciais e da própria arquitetura do dossel, das condições geométricas de iluminação e de visada e das características espectrais dos elementos que compõe esse dossel (Kumar, 1972). Segundo Colwell (1974), Goel (1988), Russel et al. (1989), Hall e Rao (1994), Ponzoni e Shimabukuro (2007) e Jensen, 2009, conforme ocorrem modificações morfológicas e fisiológicas no dossel da vegetação, as frações de energia absorvida, transmitida e refletida da radiação eletromagnética também são modificadas. Liu (2006, p. 148) destaca que:

As refletâncias da vegetação são um conjunto resultante da refletância bidirecional do dossel da vegetação que é uma mistura de diferentes componentes: a) transmitância das folhas; b) quantidade e orientação da folha; c) características e componentes das plantas (caules, galhos, troncos e sua arquitetura); d) características de fundo (refletância do solo, folhas caídas, sombras e outras); e) ângulo zenital do Sol; f) ângulo de elevação do Sol; e g) ângulo de visada do sensor remoto.

Os estudos realizados que consideram todas as frações da radiação incidente somente são conduzidos em laboratórios, por meio das medições de folhas individuais. Estudos com dosséis de vegetação, conduzidos em campo, normalmente utilizam sensores remotos, os quais quantificam a energia refletida pelos alvos da superfície terrestre, limitando as análises da resposta espectral da vegetação apenas à porção refletida da REM (Monteith e Unsworth, 1990).

Ao estudarem a interação da REM com dosséis vegetais, Ponzoni e Shimabukuro (2007, p. 25) relatam duas situações antagônicas:

Na primeira, na região do visível, a refletância diminui com o aumento de camadas de folhas e na segunda, na região do infravermelho próximo, a refletância aumenta com o aumento do número de camadas. Mas essas dinâmicas não apresentam variações lineares, ou seja, a diminuição da refletância na região do visível com a adição da segunda camada de folhas, não apresentará a mesma dimensão quando for acrescida uma terceira camada, e o mesmo acontecendo com o acréscimo de uma quarta camada de folhas, e assim por diante.

Da mesma forma, quando analisada a região do infravermelho próximo, a elevação da refletância com a adição de camadas também não será linear e apresentará acréscimos sempre menores à medida que forem adicionadas novas camadas. Assim, esses fenômenos comprovam o caráter assintótico da refletância de dosséis, também denominado de refletância infinita.

No estudo do comportamento espectral de dosséis, são analisadas principalmente as relações entre parâmetros biofísicos e a refletância espectral da vegetação. A compreensão e a quantificação destas relações é um dos fatores que possibilita o monitoramento da vegetação, assim como, a modelagem dos dados obtidos por meio do sensoriamento remoto serem relacionados com os parâmetros biofísicos do dossel de uma vegetação.

Na Figura 4.2, é apresentado o comportamento espectral em diferentes situações de cobertura do dossel e de biomassa, onde é possível observar o comportamento antagônico na faixa do vermelho (0,6 a 0,7 μ m), o infravermelho próximo (0,8 a 1,1 μ m) e o infravermelho médio (1,2 a 2,2 μ m) para três situações distintas: linha vermelha (0 kg/biomassa = 0% de cobertura), (960 kg/biomassa = 53% de cobertura) e (3660 kg/biomassa = 100% de cobertura do dossel).

A biomassa, expressa por peso verde ou seco de material vegetal ou por volume de material lenhoso, é um dos parâmetros de grande interesse para diversas áreas do conhecimento. Considerações sobre esses parâmetros e índices de vegetação são abordadas posteriormente.

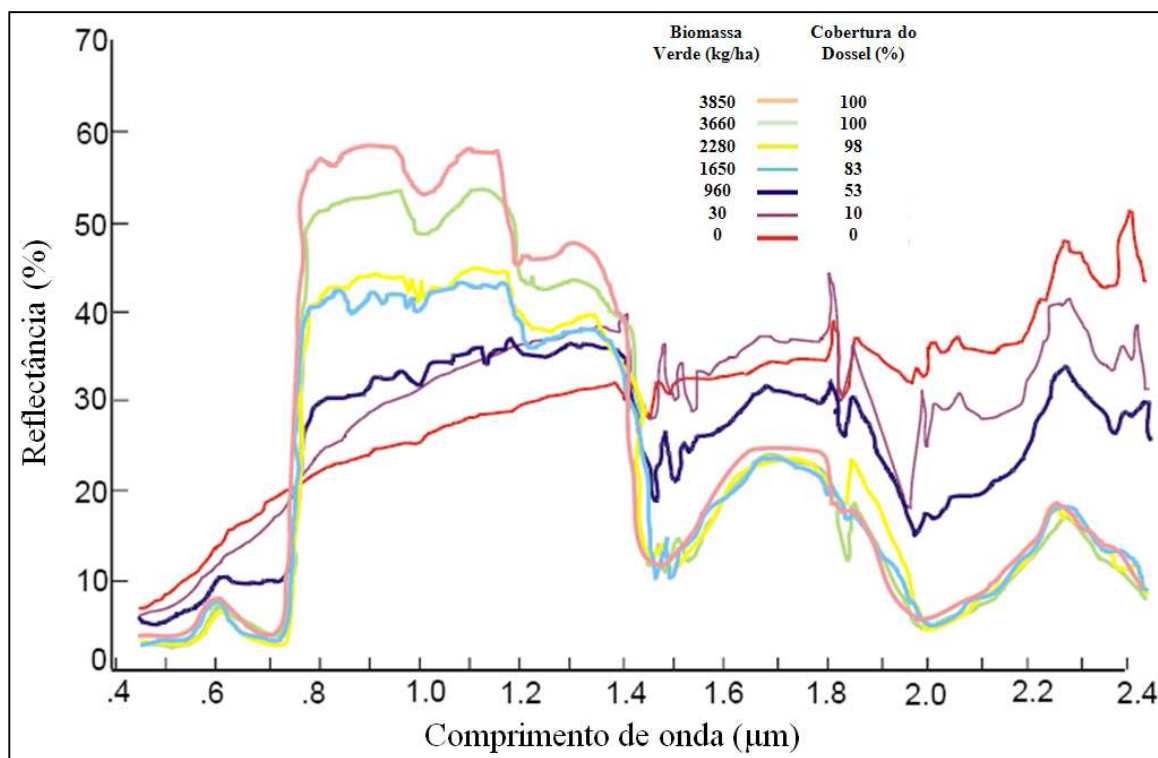


Figura 4.2. Comportamento espectral de diferentes percentuais de coberturas vegetais e biomassa.

Fonte: Adaptado Jensen, 2000.

4.2. Índices de Vegetação e a Estimativa de Parâmetros Biofísicos

As análises realizadas em coberturas do solo (agrícolas, florestais e pastagens) e a detecção de suas mudanças temporais objetivam monitorar a cobertura vegetal e avaliar as condições de produção. A detecção qualitativa é estudada desde a década de 60, e mais recentemente, a estimativa quantitativa da vegetação verde têm sido uma das principais aplicações do sensoriamento remoto na tomada de decisões econômicas e de gerenciamento ambiental. Ponzoni (2001) destaca que o desenvolvimento de relações funcionais entre as características da vegetação e dados coletados remotamente tem sido meta de muitos profissionais com atuação nos setores agrícola e florestal. Inúmeras informações podem ser extraídas a partir da análise de uma banda espectral. Porém, a disponibilidade atual de várias bandas permite uma análise mais eficiente das características espectrais dos alvos, ou seja, quanto maior o número de bandas espectrais disponíveis, maiores serão as possibilidades de extração de informações do objeto de estudo (Epiphany e Formaggio, 1990). Essas informações podem ser obtidas por meio de diferentes métodos de análise de dados, sendo que a utilização de índices espectrais de vegetação é um deles (Asrar, 1989; Jensen, 2009).

Diversos estudos utilizando índices espectrais de vegetação, ou simplesmente, *índices de vegetação*, estão sendo realizados objetivando obter a correlação da resposta espectral com as características da vegetação. Para isso, podem ser utilizados os valores de dados espectrais de: voltagem de saída do sensor, radiância, número digital e refletância, sendo comumente empregados os valores de refletância, devido às dificuldades em interpretar e obter os resultados das medidas calibradas com valores de voltagem de saída, número digital e radiância (Jackson e Huete, 1991). Assim, os índices de vegetação podem ser considerados como algoritmos baseados na transformação de valores de refletância de determinadas imagens, gerando uma nova imagem com valores do índice em cada *pixel*, sendo calculados através da razão, diferença, razão das diferenças e somas ou outra combinação linear de respostas espectrais. Ponzoni (2001, p. 192) destaca que:

Os dados obtidos por meio dos índices de vegetação servem como indicadores do crescimento e do vigor de vegetação verde e podem ser utilizados no diagnóstico de vários parâmetros biofísicos, incluindo o IAF (Índice de Área Foliar), biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade, que têm apresentado elevados graus de correlação.

Dentre os estudos realizados com sensoriamento remoto, destacam-se aqueles envolvendo os parâmetros como o IAF (Holben et al.; 1980; Asrar et al., 1984; Lo, 1986; Valeriano, 1988; Asrar, 1989; Clevers, 1989; Amaral et al. 1996; Jakubauskas e Prince, 1997; Carlson e Ripley, 1997; Sousa e Ponzoni, 1998; Xavier et al., 1998; Turner et al. 1999; Qi et al., 2000), biomassa (Tucker, 1979; Bitencourt-Pereira, 1986; Santos, 1988; Peterson e Runnig, 1989; Foody et al. 1996; Zerbini, 1997; Ponzoni e Shimabukuro, 1998; Da Costa et al., 2001; Accioly et al., 2002; Dong et al.; Foody et al.; Baptista, 2003; Ponzoni e Rezende, 2004; Lu et al., 2005; Freitas e Shimabukuro, 2007), quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (Asrar et al. 1984; França et al., 1997; Gower et al. 1999), produtividade primária e produtividade líquida (Rudorff e Batista, 1990; Baret e Guyot, 1991; Liu e Kogan, 2002).

Ao utilizar índices de vegetação, um fator relevante é a possibilidade de sua aplicação independentemente da situação temporal ou espacial, ou seja, sua aplicação não pode ser restrita a determinada região ou período. Para um índice de vegetação ser considerado ideal, ele deve responder a variações sutis no estado fenológico da vegetação, e não pode ser fortemente influenciado por variações nas condições e tipos de solo, na geometria de iluminação e visada e nas condições atmosféricas (Jackson e Huete, 1991).

Ponzoni (2001) define alguns critérios para a mensuração dos índices de vegetação que devem ser considerados nas atividades de processamento digital de imagens: a) Maximizar sua sensibilidade a parâmetros biofísicos, preferencialmente, de uma forma linear; b) Normalizar efeitos externos, tais como ângulos solar e de visada, nuvens e atmosfera; c) Minimizar a contaminação da influência do solo; e d) Conduzir à geração de produtos que permitam a comparação das condições de vegetação em escalas globais.

Para minimizar a variabilidade causada por fatores externos, a refletância espectral têm sido transformada e combinada em vários índices de vegetação, sendo os mais estudados, aqueles que utilizam informações contidas nas refletâncias de dosséis referente às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, combinado sob a forma de razão (Ponzoni, 2001; Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Crosta (2002) afirma que as variações naturais de intensidade e tipo, entre outras características da vegetação, não são perceptíveis facilmente. Porém, essas variações possuem o efeito de mudar a estrutura da curva de refletância espectral, particularmente no tocante à intensidade do mínimo de absorção da clorofila, o máximo de reflexão no infravermelho e o

gradiente da curva entre o vermelho e o infravermelho. A assinatura espectral característica da vegetação verde e sadia evidencia o contraste entre a região do visível, especificamente no vermelho, e a do infravermelho próximo. Quanto maior for esse contraste, maior será o vigor da vegetação na área imageada. Este é o princípio no qual se baseiam os índices de vegetação que combinam a informação espectral nestas duas bandas do espectro eletromagnético (Shimabukuro et al., 1997).

Dessa forma, o contraste da resposta da vegetação nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo fazem com que a vegetação seja realçada em relação aos demais alvos da superfície terrestre, facilitando sua identificação e monitoramento por meio de dados oriundos do sensoriamento remoto (Asrar et al. 1984; Baret e Guyot, 1991, Jensen, 2009). Além dessa característica, esses índices têm outra grande vantagem, pois condensam o volume de dados a serem analisados (Van Dijk et al., 1989), permitindo uma quantificação efetiva e avaliação dos parâmetros biofísicos da vegetação, assim como as características estruturais e fisiológicas (Baret e Guyot, 1991).

Bannari et al. (1995) realizaram uma extensa e profunda revisão bibliográfica sobre os índices de vegetação gerados por meio de dados de sensoriamento remoto. Eles indicaram que, até a década de 90, haviam sido desenvolvidos mais de quarenta índices de vegetação objetivando monitorar a vegetação por meio de sua refletância espectral. Destaca-se, a seguir, alguns dos principais índices de vegetação desenvolvidos nos últimos anos.

Jordan (1969) propôs o primeiro índice. Este índice faz uso das medidas espectrais dos comprimentos de onda de $0,800\mu\text{m}$ e $0,675\mu\text{m}$ e tinha o objetivo inicial de determinar o IAF (Índice de Área Foliar) em florestas. A relação entre os valores obtidos referentes à região do infravermelho próximo e ao vermelho foi denominada, mais tarde como índice de vegetação da razão simples (*Ratio Vegetation Index* - RVI). Posteriormente, utilizando-se de um radiômetro portátil, Pearson e Miller (1972) concluíram que as combinações algébricas das medidas espectrais na faixa do infravermelho próximo e do vermelho, em um dossel de vegetação formada por gramíneas, elevaram significativamente a correlação entre a refletância e a biomassa, ou seja, a resposta da vegetação foi realçada.

A partir dos trabalhos realizados por Rouse et al. (1973), foi desenvolvido o índice de vegetação da diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI). Esse índice é calculado pela diferença da refletância entre a faixa do infravermelho próximo e do

vermelho, sendo esta diferença normalizada pela divisão da soma das faixas do infravermelho próximo e vermelho. Com o intuito de evitar valores negativos de NDVI (que variam de -1 e +1), Rouse et al. (1974) apresentaram o índice de vegetação transformado (Transformation Vegetation Index – TVI), sendo obtido com a introdução de um fator ao NDVI. Posteriormente, surgiram inúmeras variações do NDVI objetivando o desenvolvimento de índices menos sensíveis a influências do solo, atmosfera e geometrias de iluminação e visada.

Kauth e Thomas (1976) desenvolveram uma técnica para transformar as informações de quatro bandas espectrais do Landsat-MSS em dois índices de vegetação. Estes índices foram obtidos fundamentados na refletância da copa da vegetação e derivados da análise de componente com base principal das quatro faixas do MSS, que representam quatro características espectrais (brilho, verde, amarelo e nenhum destes três casos). Assim, o valor de brilho foi denominado índice de brilho do solo (*Soil Brightness Index* – SBI) e o valor de verde foi denominado índice de vegetação verde (*Green Vegetation Index* – GVI).

Já Richardson e Wiegand (1977) propuseram o índice de vegetação perpendicular (*Perpendicular Vegetation Index* – PVI), que objetivava eliminar a interferência da refletância do solo abaixo da copa da vegetação. Esse índice é baseado nos valores de refletância de vegetação e do solo nas bandas do visível e do infravermelho próximo.

Dentre as variações desenvolvidas no NDVI, destaca-se ainda o índice de vegetação ajustado ao solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI), proposto por Huete (1988). Esse índice otimizou a resposta da vegetação e relação às interferências do solo, em situações de cobertura vegetal baixa, mantendo o valor dentro do intervalo que vai de -1 a +1 e, acrescido de um fator correspondente ao solo. Com o mesmo objetivo, Clevers (1988) criou um índice que atribuía pesos distintos para cada tipo de solo propôs o índice da diferença ponderada (*Weighted Difference Vegetation Index* – WDV). Já Baret et al. (1989) desenvolveram o índice de vegetação transformado ajustado ao solo (*Transformed Soil Adjusted Vegetation Index* – TSAVI), introduzindo ao SAVI dois novos coeficientes, objetivando minimizar ainda mais os efeitos de interferência da resposta espectral dos solos.

Major (1990) propôs outro índice ajustado ao solo (*Soil Adjusted Ratio Vegetation Index* – SARVI¹). Neste, são utilizados dois coeficientes obtidos a partir das refletâncias do solo, ajustados ao ângulo zenital solar. Qi et al. (1994) apresentaram o índice de vegetação modificado com linha de solo ajustado (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index* – MSAVI), o

qual modificou o índice SAVI com um fator baseado nos índices NDVI e WDI. Já Li (1994) introduziu um fator ao SAVI, propondo um índice de vegetação ajustado por dois eixos (Two-Axis Adjusted Vegetation Index – TWVI), eliminando, assim, a variação da linha de superfície do solo abaixo da copa da vegetação causada por diferentes tipos de solo.

Considerando a necessidade de minimizar a influência da atmosfera nos índices como o RVI e o NDVI, Pinty e Verstraete (1992) propuseram o índice para o monitoramento global da vegetação (*Global Environment Monitoring Index – GEMI*). Kaufman e Tanré (1992) desenvolveram o índice de vegetação resistente à atmosfera (*Atmospherically Resistant Vegetation Index – ARVI*), o qual é uma variação do NDVI acrescentado a banda de refletância na região do azul. Apresentaram, também, o índice ajustado ao solo e resistente à atmosfera (*Soil Adjusted Atmospherically Resistant Vegetation Index – SARVI*²) com objetivo de minimizar a influência desses dois fatores, esse índice pode ser considerado um híbrido entre o ARVI e o SAVI.

Bannari et al. (1994) apresentaram o índice de vegetação com resistência atmosférica e a linha do solo transformada (*Transformed Soil Atmospherically Resistant Vegetation Index – TSARVI*). Objetivando minimizar os efeitos de espalhamento atmosféricos, Plummer et al. (1994) desenvolveram o índice de vegetação angular (*Angular Vegetation Index – AVI*) sendo utilizadas bandas do infravermelho próximo, vermelho e verde. Nesta mesma linha, Liu e Huete (1995) propuseram o índice de vegetação da diferença normalizada modificado (*Modified Normalized Vegetation Index – MNDVI*), no qual foram introduzidos mecanismos para uma auto-correção das variações geradas pelo solo e pela atmosfera.

Rondeaux et al. (1996) desenvolveram o índice de vegetação ajustado ao solo otimizado (*Optimized Soil Adjusted Vegetation Index – OSAVI*), sendo uma variação do índice TSAVI. Já o índice de vegetação melhorado (*Enhanced Vegetation Index – EVI*) proposto por Justice et al. (1998) objetiva otimizar o sinal da vegetação, elevando significativamente a sensibilidade da detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, reduzindo a influência da refletância do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel.

De forma geral, esses índices normalmente utilizam valores de refletância da região do vermelho e do infravermelho próximo, e podem ser agrupados em duas grandes classes: a) Índices na forma de razão e b) Índices caracterizados pela distância ortogonal (Baret e Guyot,

1991). Salienta-se que outros índices, que utilizam mais de duas bandas espectrais, conforme a formulação matemática, podem ser incluídos em uma dessas classes.

Os índices de razão relacionam os dados da resposta espectral de diferentes bandas espectrais em equações algébricas na forma de razão, podendo ser aplicado à razão simples de duas bandas, ou a razão das somas, diferenças, ou produtos de qualquer número de bandas espectrais (Jackson e Huete, 1991).

Como exemplo desses índices pode-se citar o: RVI, NDVI, SAVI, TSAVI, SARVI, ARVI, GEMI, MSAVI, TWVI, TSARVI, AVI, MNDVI, OSAVI e o EVI. Segundo a literatura, estes índices se correlacionam melhor com os atributos do dossel da vegetação, normalmente mensurados em laboratório, como área foliar verde e fitomassa, apesar de apresentarem como desvantagem a influência das características espectrais do solo e da vegetação senescente (Asrar, 1989). Já os índices caracterizados pela distância ortogonal, ou de combinação linear, são aqueles que envolvem alteração na ortogonalidade dos eixos de dispersão dos dados (Epiphanio e Formaggio, 1990).

Esses se fundamentam no contraste espectral existente entre a vegetação e as características do solo, sendo essas características representadas por uma linha de referência denominada linha do solo. Cita-se como exemplo desses índices o: TVI, SBI, GVI, PVI e o WDV. Na Tabela 4.2, são relacionados os principais índices de vegetação desenvolvidos e utilizados para calcular diferentes parâmetros biofísicos da vegetação durante as últimas décadas.

Tabela 4.2. Relação dos índices de vegetação mais utilizados em estudos da cobertura vegetal.

Sigla	Índice de Vegetação	Proponente	Principal Característica
RVI	<i>Ratio Vegetation Index</i>	Jordan (1969)	Primeiro índice aplicado para determinar o IAF florestal
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	Rouse et al. (1973)	Normaliza a razão das bandas e é sensível à vegetação esparsa
TVI	<i>Transformation Vegetation Index</i>	Rouse et al. (1974)	Evita os valores negativos gerados pela normalização do NDVI
SBI	<i>Soil Brightness Index</i>	Kauth e Thomas (1976)	Ressalta a refletância do solo
GVI	<i>Green Vegetation Index</i>	Kauth e Thomas (1976)	Ressalta a refletância da vegetação
DVI	<i>Difference Vegetation Index</i>	Richardson e Wiegand (1977)	Considera a linha do solo na banda do infravermelho
PVI	<i>Perpendicular Vegetation Index</i>	Richardson e Wiegand (1977)	Elimina a interferência da refletância do solo
CTVI	<i>Corrected Transformed Vegetation Index</i>	Perry e Lautenschlager (1984)	Melhora as condições de interpretação do TVI
PVI 1	<i>Perpendicular Vegetation Index 1</i>	Perry e Lautenschlager (1984)	Diferentes ajustes e melhoramento do PVI
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>	Huete (1988)	Otimiza a resposta espectral da vegetação em relação ao solo
WDVI	<i>Weighted Difference Vegetation Index</i>	Clevers (1988)	Semelhante ao SAVI, atribui pesos distintos para cada tipo de solo
TSAVI	<i>Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 1</i>	Baret et al. (1989)	Introduz ao SAVI dois coeficientes minimizando a interferência do solo
TSAVI2	<i>Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 2</i>	Baret et al. (1989)	Adicionou o fator 0,8 para minimizar os efeitos do brilho de fundo do solo
SARVI	<i>Soil Adjusted Ratio Vegetation Index</i>	Major (1990)	Utiliza coeficientes baseados no solo e no ângulo zenital solar

Tabela 4.2. (Continuação).

Sigla	Índice de Vegetação	Proponente	Principal Característica
NRVI	<i>Normalized Ration Vegetation Index</i>	Baret e Guyot (1991)	Modifica o RVI, normalizando resultados
ARVI	<i>Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>	Kaufman e Tanré (1992)	Utiliza a banda na região do azul, diminuindo os efeitos da atmosfera
GEMI	<i>Global Environment Monitoring Index</i>	Pinty e Verstraete (1992)	Minimiza a influência da atmosfera nos índices como RVI e NDVI
SARVI2	<i>Soil Adjusted Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>	Kaufman e Tanré (1992)	Híbrido (ARVI x SAVI), é ajustado ao solo e resistente à atmosfera
PVI 2	<i>Perpendicular Vegetation Index 2</i>	Walther e Shabaani (1991)	Diferentes ajustes e melhoramento do PVI
MSAVI	<i>Modified Soil Adjusted Vegetation Index</i>	Qi et al. (1994)	Introduz ao SAVI um fator baseado nos índices NDVI e WdVI
MSAVI2	<i>Modified Soil Adjusted Vegetation Index</i>	Qi et al. (1994)	Utiliza um fator L indutivo para remover o “ruído” do solo
PVI 3	<i>Perpendicular Vegetation Index 3</i>	Qi et al. (1994)	Diferentes ajustes e melhoramento do PVI
TWVI	<i>Two-Axis Adjusted Vegetation Index</i>	Li (1994)	Ajusta o SAVI, eliminando a variação do solo abaixo da copa
TSARVI	<i>Transformed Soil Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>	Bannari et al. (1994)	Resistente à influência da atmosfera e da linha do solo
AVI	<i>Angular Vegetation Index</i>	Plummer et al. (1994)	Minimiza os efeitos do espalhamento atmosférico
MNDVI	<i>Modified Normalized Vegetation Index</i>	Liu e Huete (1995)	Auto-corrigue as variações geradas pelo solo e atmosfera
OSAVI	<i>Optimized Soil Adjusted Vegetation Index</i>	Rondeaux et al. (1996)	Modifica o TSAVI minimizando a influência do solo
TTVI	<i>Thiam's Transformed Vegetation Index</i>	Thiam (1997)	Melhora as condições do NDVI e TVI
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>	Justice et al. (1998)	Otimiza o sinal da vegetação e reduz a influência do solo e da atmosfera

4.3. Aspectos Metodológicos

Este trabalho aborda a correlação de variáveis espectrais (índices de vegetação) com parâmetros biofísicos (biomassa/carbono) de áreas conduzidas com sistemas agroflorestais (SAF's) no município de Tomé-Açu, PA, incorporando à análise, instrumentais geotecnológicas como o sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas.

Aqui está apresentado os aspectos da metodologia aplicada para a obtenção dos dados e a análise realizada, sendo que detalhes metodológicos serão abordados diretamente nos capítulos inerentes a cada etapa. Os materiais básicos utilizados na presente pesquisa foram:

- ✓ Cenas do satélite Landsat (Thematic Mapper – 10/2005 e 10/2008);
- ✓ Carta topográfica IBGE (Escala 1:250.000);
- ✓ Mapas de divisão de lotes rurais CAMTA (Escala 1:10.000);
- ✓ Computador (desktop e portátil);
- ✓ Sistemas de posicionamento global por satélite (Garmin Etrex);
- ✓ Sistemas de informações geográficas (ArcGis v. 9.2; Envi v. 4.3 e Idrisi v. Andes 15.0);
- ✓ Pacotes (Microsoft Office v. 2007; Adobe Photoshop CS 2 v. 9.0 e Bio DAP v.1.0);
- ✓ Bibliografias técnico-científicas;
- ✓ Materiais de campo, laboratório e de consumo (fita diamétrica, suta, balizas, prancheta, câmara fotográfica digital, veículo, mesa digitalizadora, escâner, impressora, plotter, papel, combustível, cartucho de tinta).

Neste contexto, a metodologia elaborada para o cumprimento dos objetivos propostos, foi estruturada em diferentes etapas (Figura 4.4). Os dados foram obtidos a partir de três origens: *(I) Dados orbitais*, *(II) Mapas base* e *(III) Dados de campo*, os quais posteriormente foram analisados com base na *(IV) Matriz Geográfica*.

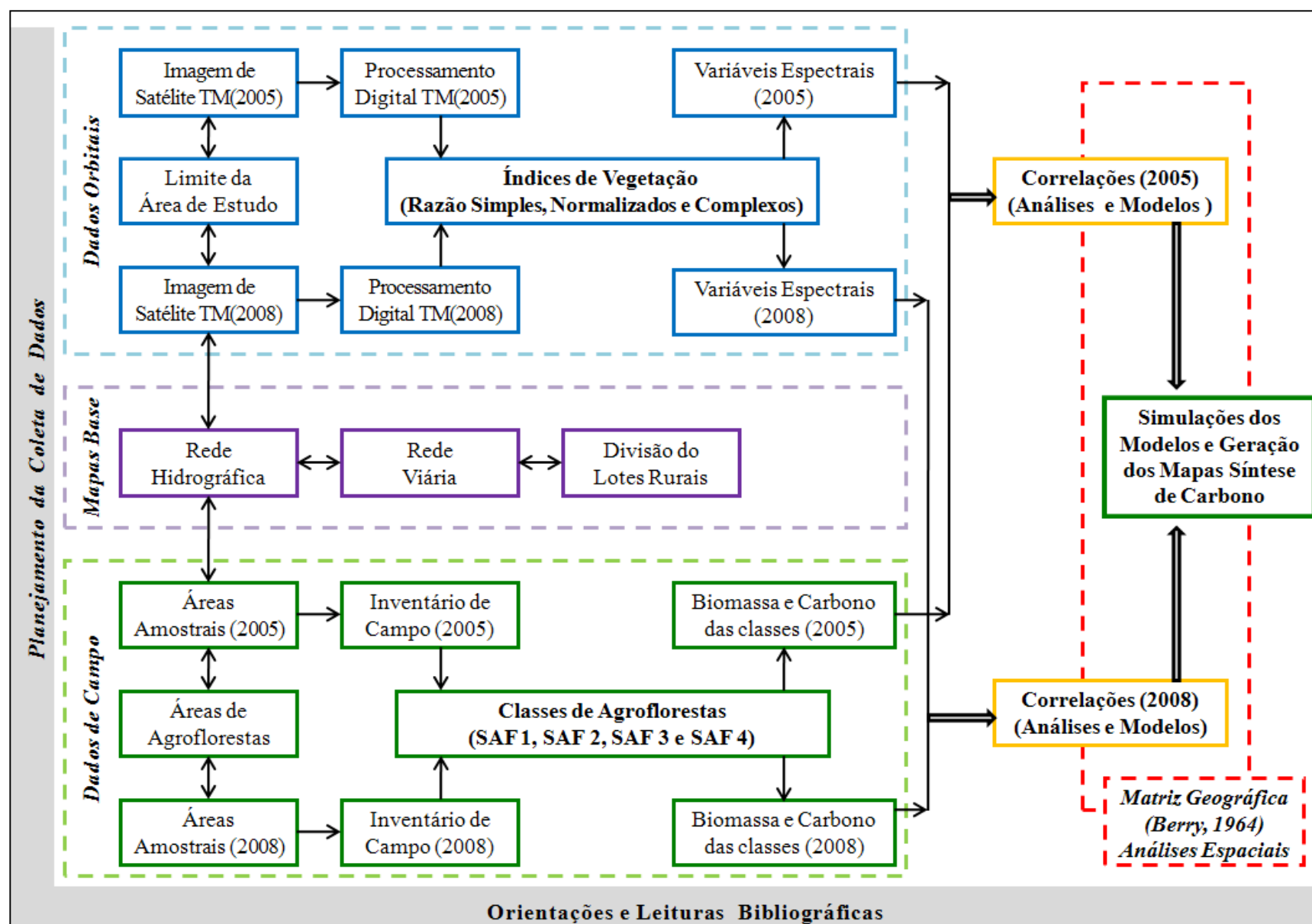


Figura 4.3. Organograma da metodologia utilizada.

(I) *Dados Orbitais:*

- ✓ Definição do limite da área de estudo
- ✓ Obtenção de imagem de satélite Landsat TM de 2005
- ✓ Obtenção de imagem de satélite Landsat TM de 2008

Para avaliação da biomassa e do carbono fixado nos sistemas agroflorestais, propõe-se a utilização de processos envolvendo a correlação entre a biomassa/carbono e a radiância (Índices de Vegetação) medida pelo sensor orbital LANDSAT-TM. Utilizou-se imagens geradas pelo sensor TM/LANDSAT 5 de 2005 e 2008, no mesmo período vegetativo das missões em campo. As imagens TM possuem cobertura de 185 x 185 km e em sua configuração maximizam o uso de fatores dominantes que controlam a refletância das folhas, tais como pigmentação da folha, estrutura da folha e do dossel e conteúdo de umidade (Jensen, 2009). Cada cena possui sete bandas espectrais, sendo que as bandas 1 a 5 e a 7 possui em resolução espacial de 30 x 30 m enquanto a banda 6 possui resolução de 120 x 120m.

(1) *Azul – 0,45 a 0,52 μm ;*

(2) *Verde – 0,52 a 0,60 μm ;*

(3) *Vermelho – 0,63 a 0,69 μm ;*

(4) *Infravermelho Próximo – 0,76 a 0,90 μm ;*

(5) *Infravermelho Médio – 1,55 a 1,75 μm ;*

(6) *Infravermelho Termal – 10,40 a 12,50 μm ;*

(7) *Infravermelho Médio – 2,08 a 2,35 μm .*

A vegetação absorve a maior parte do fluxo radiante incidente no azul, verde e vermelho para fins fotossintéticos. Consequentemente, áreas com vegetação aparecem escuras nas imagens das bandas 1 (azul), 2 (verde) e 3 (vermelho). A vegetação reflete aproximadamente 50% do fluxo radiante incidente no infravermelho próximo, fazendo com que a vegetação apareça clara na imagem da banda 4 (infravermelho próximo). Já as bandas 5 e 7 (infravermelho médio) fornecem mais detalhes em terrenos úmidos, pois elas são sensíveis às condições de umidade dos solos e plantas. A banda 6 (termal) fornece informações limitadas para sua utilização em superfícies vegetadas.

Optou-se pela utilização das imagens TM por possuírem qualidade relativa na resolução espectral e radiométrica, por existirem diversas cenas com baixa cobertura de nuvens para a área de estudo e pelo seu relativo baixo custo. Assim, as imagens TM possuem ainda alta

aplicabilidade nos mais diferentes campos de estudos e pesquisas envolvendo a prospecção, levantamento e monitoramento de recursos naturais da superfície da Terra.

Objetivando preparar as imagens e elevar a qualidade dos dados a serem mensurados na área de estudo por meio dos índices de vegetação, as imagens utilizadas foram primeiramente pré-processadas visando minimizar alterações detectadas nestas imagens, incluindo a atenuação de distorções geométricas e radiométricas (Chuvieco, 1996), elevando assim as possibilidades de extração de informações sobre a vegetação.

Ponzoni et al. (2007) destacam que no imageamento da superfície terrestre através o uso de sensores orbitais, é importante que cada pixel seja posicionado espacialmente coerente, segundo um modelo cartográfico específico, e o mais fiel possível em relação ao seu verdadeiro posicionamento geográfico na superfície terrestre. Assim, o processo de correção geométrica objetivou eliminar as distorções sistemáticas introduzidas durante o processo de aquisição da imagem e posicionar a imagem no espaço geográfico, dando, para cada pixel, uma coordenada geográfica (latitude e longitude) em um sistema de projeção da superfície terrestre (Chuvieco, 1996). As imagens utilizadas foram retificadas geometricamente a partir da Projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator – Zona 23S – SAD 69*), baseada em pontos de controle obtidos em carta topográfica na escala 1:100.000. A reamostragem foi efetuada por meio do interpolador “vizinho mais próximo”, sendo que o erro médio quadrático situou-se em torno de 0,5 pixel, atendendo padrões de precisão citados por Eastman (1998).

Realizou-se a correção radiométrica, técnica que modifica os números digitais (ND) com o objetivo de caracterizar as imagens no caso de uma recepção ideal, englobando a conversão de ND da imagem em parâmetros físicos – como a radiância e refletância e as distorções provocadas pela atmosfera (Chuvieco, 1996). As imagens orbitais são compostas por *pixels* representados por números digitais, sendo estes diretamente proporcionais à refletância dos alvos. Diversos são os trabalhos que relacionam o próprio número digital às características da vegetação, como os citados por Epiphanyo e Formaggio (1990). Porém, Ponzoni et al. (2007) destacam que a conversão de ND para valores físicos permite a caracterização espectral de objetos, bem como a elaboração de cálculos que incluem dados de imagens de diferentes bandas espectrais ou de diferentes sensores. Este processo de correção tem por objetivo uniformizar (algebricamente) as sensibilidades de diferentes detectores que atuam em uma

determinada faixa espectral, tornando a imagem resultante livre de listras ou de ruídos indesejáveis.

De acordo com Chuvieco (1996), para o estudo do conteúdo de umidade na vegetação ou de sua biomassa, é preciso estabelecer uma relação quantitativa entre os números digitais da imagem e parâmetros físicos desse alvo. Ponzoni e Shimabukuro (2007) sugerem para essa conversão a transformação proposta por Markham e Barker (1986) como sendo a mais adequada, assim, realizou-se a conversão em duas fases, sendo inicialmente o valor de DN transformado em radiância bidirecional aparente (Equação 4.1) e depois para refletância bidimensional aparente - FRB (Equação 4.2).

$$L_0(\lambda) = Lmin_{\lambda} + \frac{(Lmax_{\lambda} - Lmin_{\lambda}) * QCAL}{QCAL_{max}} \quad (4.1)$$

Onde $L_0(\lambda)$ = radiância bidirecional aparente; $Lmin_{\lambda}$ = radiância espectral mínima; $Lmax_{\lambda}$ = radiância espectral máxima; $QCAL_{max}$ = número digital máximo (dependente da resolução radiométrica do sensor; e $QCAL$ = número digital a ser convertido.

$$\rho_a = \frac{\pi * L_0(\lambda) * d^2}{E_{sun}(\lambda) * cos\theta} \quad (4.2)$$

Onde ρ_a = FRB aparente; $L_0(\lambda)$ = radiância bidirecional aparente ($mW.cm^{-2}.sr^{-1}.mm^{-1}$); d = distância Sol-Terra em unidades astronômicas; $E_{sun}(\lambda)$ = irradiância média do sol no topo da atmosfera ($mW.cm^{-2}.sr^{-1}.mm^{-1}$); e $cos\theta$ = ângulo solar zenital.

A radiância refletida e recebida por um dado sensor é determinada principalmente pelas propriedades de refletância e absorção dos componentes da superfície e pelo comportamento dos componentes da atmosfera (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Dentre os principais efeitos observados nas imagens de satélite, devido à presença real da atmosfera entre o satélite e a superfície terrestre, Zullo Jr. (1994) destaca a diminuição da faixa de valores digitais possíveis registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de cada ponto da imagem. Assim, os efeitos atmosféricos das imagens processadas e convertidas a valores de FRB aparente foram corrigidos utilizando-se o método proposto por Chavez (1998), denominado de Correção Atmosférica pelo Pixel Escuro (*Dark Object Subtration* - DOS). Para estes processos, foram utilizados coeficientes de calibração do sensor TM e demais parâmetros conforme Markham e Barker (1986) e NASA (2005, 2008), como ano, mês, dia, hora e minuto da tomada da imagem, radiâncias mínima e máxima, ângulo de visada do satélite, irradiância e elevação solar.

Em função da conformação dos sistemas de produção avaliados (heterogeneidade vegetal, idade, diferentes coberturas vegetais e exposições do solo), foram utilizadas informações baseadas em índices de vegetação subdivididos em três grupos: Índices de Razão Simples, Índices Normalizados e Índices Complexos. Dentre estes, apresenta-se a seguir uma abordagem mais detalhada sobre quatro índices de vegetação (RVI, NDVI, PVI e SAVI), a partir dos quais desenvolveram-se grande parte dos índices de vegetação utilizados atualmente e observados na literatura como potenciais para estudos de biomassa e considerados neste estudo.

a) Índice de Razão Simples (RVI – *Ratio Vegetation Index*)

Proposto por Jordan (1969), foi o primeiro índice desenvolvido utilizando a razão das bandas espectrais do infravermelho próximo e do vermelho (Equação 4.3).

$$RVI = \rho_{IVP} / \rho_V \quad (4.3)$$

Em que: RVI = índice de razão simples; ρ_{IVP} = refletância na faixa do infravermelho próximo; ρ_V = refletância na faixa do vermelho.

Liu (2006) destaca que em função das folhas verdes absorverem a radiação na faixa do vermelho e refletirem na faixa do infravermelho próximo, o RVI pode ser um bom indicador do crescimento de uma cultura e da estimativa da biomassa. Porém, as interferências atmosféricas na radiação, principalmente a refletância diferenciada entre infravermelho próximo e visível no topo das nuvens, podem afetar o valor absoluto do RVI, comprometendo a interpretação dos resultados.

b) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*)

Este é o índice de vegetação mais comumente empregado, desenvolvido por Rouse et al. (1973), envolve a razão entre duas combinações lineares de bandas nas regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, sendo expresso pela equação 4.4.

$$NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V) \quad (4.4)$$

Em que: $NDVI$ = índice de vegetação da diferença normalizada; ρ_{IVP} = refletância na faixa do infravermelho próximo; ρ_V = refletância na faixa do vermelho.

Este índice possui a característica de minimizar os efeitos topográficos ao produzir em seu resultado uma escala linear de medida, variando de -1 a +1. Os valores negativos representam as nuvens, aqueles próximos de zero representam o solo nu ou sem vegetação, e quanto mais próximo

de 1, maior a densidade de cobertura vegetal. Assim, essa normalização pelo limite da extensão dos valores (de -1 a +1) tem o efeito de aumentar valores baixos e reduzir valores altos.

Sendo esse índice resultante da combinação de duas bandas espectrais, ele resolve parcialmente os efeitos da presença dos constituintes atmosféricos e das perturbações radiométricas e geométricas. Da mesma forma, os efeitos gerados pelas variações do ângulo solar e do ângulo de visada dos sensores remotos são minimizados, tornando-se bastante útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação (Holben, 1986). Por outro lado, uma peculiaridade negativa atribuída ao NDVI é a rápida saturação que o torna insensível ao aumento da biomassa a partir de um determinado estágio de desenvolvimento vegetativo. Os valores do NDVI estabilizam-se em um patamar, apresentando o mesmo valor, independentemente do aumento da densidade do dossel (Sellers, 1989; Gleriani, 1994).

Matematicamente, o RVI e o NDVI são semelhantes em sua funcionalidade, ou seja, contêm o mesmo tipo de informação sobre parâmetros biofísicos da vegetação. O diferencial desses índices reside no fato que o NDVI é mais sensível à vegetação esparsa do que o RVI. Ressalta-se ainda a elevada gama de trabalhos e pesquisas disponíveis abordando o NDVI e a relação com parâmetros biofísicos da vegetação, oportunizando comparações futuras. Já a opção pelo SAVI, justifica-se por este índice apresentar uma constante capaz de minimizar as influências do solo, considerando que algumas áreas amostrais deste estudo foram recentemente implantadas, podendo ainda apresentar influências do solo na resposta espectral da vegetação. E por fim, a aplicação do EVI, por se tratar de um índice relativamente recente, ainda pouco utilizado, mas com grande potencial, uma vez que além de minimizar a influência do solo sobre a resposta espectral do dossel da vegetação, também reduz a interferência atmosférica.

c) Índice de Vegetação Perpendicular (*Perpendicular Vegetation Index* – PVI)

Proposto por Richardson e Wiegand (1977), utiliza a distância perpendicular de cada coordenada de pixel para a linha de solo. Assim, minimiza os efeitos da refletância da superfície do solo abaixo da vegetação, quando esta não cobre totalmente. Para calcular a distância perpendicular, é necessário, primeiramente, determinar a equação da linha do solo pela refletância dos valores do solo exposto, valores para a faixa do vermelho (variável dependente) *versus* faixa do infravermelho próximo (variável independente) (Equação 4.5) e determinar a equação da linha perpendicular (Equação 4.6.).

$$Rg5 = a_0 + a_1 Rg7 \quad (4.5)$$

$$Rp5 = b_0 + b_1 Rp7 \quad (4.6)$$

Em que: $b_0 = Rp5 - b_1 Rp7$; $b_1 = -1/a_1$

Onde $Rp5$ = refletância na faixa do vermelho; $Rp7$ = refletância na faixa do infravermelho; ρ_V = refletância na faixa do vermelho; a_1 = rampa da linha do solo.

Na etapa final, deve-se encontrar a intersecção das duas linhas ($Rgg5$, $Rgg7$) equações 4.7 e 4.8, assim como a distância entre a intersecção ($Rgg5$, $Rgg7$) e a coordenada do pixel ($Rp5$, $Rp7$) para finalmente calcular o PVI (Equação 4.9).

$$Rgg5 = (b_1 a_0 - b_0 a_1) / (b_1 - a_1) \quad (4.7)$$

$$Rgg7 = (a_0 - b_0) / (b_1 - a_1) \quad (4.8)$$

$$PVI = \sqrt{(Rgg5 - Rp5)^2 + (Rgg7 - Rp7)^2} \quad (4.9)$$

Este índice não pode ser considerado independente do brilho do solo no fundo, ou seja, a dispersão dos valores de refletância ao longo da reta é obtida pela medição da refletância em várias condições de umidade. Outra suposição proposta por Jackson et al. (1985) é que a linha do solo é linear e que todos os solos produziram dados que enquadrariam nesta reta, ocasionando a dispersão dos pontos, além da umidade. Porém, estes próprios autores observaram uma variação considerável dos valores de refletância ao utilizar materiais diferentes (de cinza a areia), e que a linha dos solos provavelmente não seria linear. Nesta linha de pesquisa, Baret et al. (1991) demonstraram a partir da amostragem de vários solos, que os valores de inclinação a e intercepto b desses solos são inversamente proporcionais, e que a variação elevada desses valores não subsidia o conceito da “linha global dos solos”. Entretanto, estes observaram exceções em tipos peculiares de solos, onde a linha global poderia ser útil, particularmente em imagens obtidas por sensores de baixa resolução espacial.

d) Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI*)

Desenvolvido por Huete (1988), incorporou uma constante de ajuste de solo no denominador da equação do NDVI, lhe conferindo a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo, otimizando a resposta espectral da vegetação. Esse índice é calculado pela equação 4.10.

$$SAVI = [(\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)] \times (1 + L) \quad (4.10)$$

Em que: $SAVI$ = índice de vegetação ajustado ao solo; ρ_{IVP} = refletância na faixa do infravermelho próximo; ρ_V = refletância na faixa do vermelho; L = fator de ajuste do solo.

O fator L é função das características da refletância do solo e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar. Huete (1988) estudou e analisou vários valores dessa constante, considerando diferentes graus de exposição do solo, sendo proposta a utilização do fator $L = 1,0$ para densidades baixas de vegetação, $L = 0,5$ para densidades médias de vegetação e $L = 0,25$ para densidades altas de vegetação. Segundo Baret e Guyot (1991), a introdução do ajuste L permitiu minimizar as influências do brilho do solo e gerar isolinhas de vegetação mais independentes das características do solo.

A equação 4.8 é uma simplificação adotada pelo autor (Huete, 1988) quando os fatores que reduzem a influência do solo para as regiões do vermelho e do infravermelho, denominados respectivamente de l_1 e l_2 , são considerados iguais. Neste caso, o somatório dessas constantes pode ser substituída por outra constante, chamada de L (se $l_1 = l_2$, faz-se $l_1 + l_2 = L$), apresentada na equação 4.10. Testando esta constante para valores variando entre 0 e 100 e determinando o valor do SAVI para dois solos com características extremas (solo com brilho baixo e solo com brilho alto), Huete (1988) determinou que, com $L = 1$, a influência do solo praticamente desaparece em vegetação com dosséis de densidade baixa (IAF entre 0 e 0,5). Já para vegetação com densidade maior (IAF = 1), o $L = 0,75$ foi o valor em que se observou a menor influência do solo.

Assim, de forma geral, observa-se que ao elevar o IAF, o valor de L deve ser diminuído gradativamente, até o momento em que se atinge o patamar de um IAF em torno de 3,6. Neste momento ocorrerá a menor influência do solo com o $L = 0$, onde o SAVI se equivale ao NDVI. Huete (1988) destaca ainda que o ajuste ideal da constante L deve variar com a densidade do dossel, porém, ao observar que o ajuste de $L = 0,5$ reduz consideravelmente o ruído do solo e uma gama variada de densidades de dosséis, indica que este valor é conveniente naquelas situações em que o IAF seja desconhecido. Aplicações do SAVI com valor de $L = 0,5$ têm apresentado relativo sucesso na utilização deste índice para determinar parâmetros biofísicos da vegetação (Gleriani, 1994; Epifhanio e Huete, 1995), em especial a biomassa e, ao contrário do NDVI, minimizando o efeito da saturação (Bernardes, 1996).

(II) Mapas Base

- ✓ Obtenção da rede hidrográfica
- ✓ Obtenção da rede viária
- ✓ Obtenção da divisão dos lotes rurais

A partir dos mapas base, gerou-se diferentes planos de informação: rede hidrográfica, rede viária e divisão dos lotes rurais. Estes planos foram inseridos em um sistema de informações geográficas, onde suas escalas originais foram uniformizadas digitalmente para 1:25.000. Estes mapas subsidiaram posteriormente a localização e a identificação das áreas implantadas com sistemas agroflorestais. Na Tabela 4.3 são apresentados os “metadados” dos mapas-base.

Tabela 4.3. “Metadados” dos mapas-base utilizados na pesquisa.

Tema	Fontes	Formato	Escala Original	Obtenção	Tipo de Dado**
Divisão dos lotes rurais	CAMTA (2005)	Analógico	1: 10.000	Digitalização	Secundário / Espacial Quantitativo / Categórico
Rede hidrográfica	IBGE (1975)	Analógico	1: 250.000	Digitalização	Primário / Espacial
	CAMTA (2005)		1: 10.000		Qualitativo / Contínuo
Rede viária	IBGE (1975)	Analógico	1: 250.000	Digitalização	Primário / Espacial
	CAMTA (2005)		1: 10.000		Qualitativo / Contínuo

* Área de abrangência dos associados da CAMTA (Cooperativa Mista de Tomé-Açu).

**Classificação de dados geográficos (O'breian, 1992).

(III) Dados de Campo

- ✓ Localização de áreas agroflorestais
- ✓ Definição de áreas amostrais 2005
- ✓ Definição de áreas amostrais 2008

Posteriormente à definição das áreas amostrais para cada ano analisado, elas foram identificadas e localizadas por meio de um sistema de posicionamento global por satélite. No processo de inventário de campo, os agricultores foram entrevistados, tomando-se informações sobre o histórico do uso e ocupação da terra e os arranjos produtivos.

Para análise estrutural e florística, foram coletados dados biofísicos da vegetação dos SAF estudados nas parcelas amostrais, adotando-se recomendações propostas por Brower et al. (1998),

considerando os índices de: a) Abundância absoluta (Na); b) Abundância por hectare ($N(ha)$); c) Frequência absoluta (Fa); d) Frequência relativa (Fr); e) Área basal (G); f) Densidade relativa (Dr); g) Dominância relativa (Dor) e h) Índice de valor de importância (IVI), conforme as equações 4.11 a 4.18:

$$a) \quad Na = n_i \quad (4.11)$$

$$b) \quad N(ha) = (n_i/N) * 100 \quad (4.12)$$

$$c) \quad Fa = (f_i/K) \quad (4.13)$$

$$d) \quad Fr = (F_{ai}/\sum Fa) * 100 \quad (4.14)$$

$$e) \quad G = \sum G_i \quad (4.15)$$

$$f) \quad Dr = (n_i/N) * 100 \quad (4.16)$$

$$g) \quad Dor = (G/\sum G_t) * 100 \quad (4.17)$$

$$h) \quad IVI = Dri + Dori + Fri \quad (4.18)$$

Onde n_i é o número de indivíduos da espécie i ; N é o número total de indivíduos amostrados; f_i é o número de parcelas em que ocorreu a espécie i ; K é o número total de parcelas; F_{ai} é a frequência absoluta da espécie i ; $\sum Fa$ é a somatória das frequências absolutas de todas as espécies amostradas; $\sum G_i$ é a soma da área transversal da espécie i ; G é a área basal da espécie i e $\sum G_t$ é a somatória da área basal de todas as espécies amostradas.

A partir dos dados estruturais e florísticos definiu-se dividir as áreas de agroflorestas em classes agrofloretais e analisar a diversidade e similaridade florística dessas áreas visando uma análise melhor quanto à composição das agroflorestas estudadas. A diversidade alfa foi calculada por meio do índice de diversidade de Simpson (S') e o índice de Shannon-Weaver (H'). O índice de Simpson (Equação 4.19), derivado da teoria das probabilidades, é utilizado em análises quantitativas de comunidades biológicas. É um índice de dominância e reflete a idéia da probabilidade de se coletar aleatoriamente dois indivíduos da comunidade e, obrigatoriamente, pertencerem à mesma espécie. Varia na escala de 0 a 1 e quanto mais alto for, maior a probabilidade dos indivíduos serem da mesma espécie, ou seja, maior a dominância e menor a diversidade. Este índice é pouco influenciado pela ocorrência de espécies raras, sendo calculado pela equação 4.19 (Magurran, 1988).

$$S' = \sum_{i=1}^S (n_i * (n_i - 1) / N(N - 1)) \quad (4.19)$$

Onde, S = número total de espécies amostradas; N = número total de indivíduos amostrados; n_i = número de indivíduos amostrados para a i -ésima espécie.

Já o índice de Shannon-Weaver, procedente da teoria da informação (Shannon e Weaver, 1949), é o mais utilizado para estudos desta natureza. Este índice mede o grau de incerteza em prever a que espécie pertencerá um indivíduo escolhido, ao acaso, de uma amostra com S espécies e N indivíduos. Quanto menor o valor do índice de Shannon, menor o grau de incerteza e, portanto, a diversidade da amostra é baixa. A diversidade tende a ser mais alta quanto maior o valor do índice. O valor ocorre usualmente entre 1,5 e 3,5, raramente ultrapassa 4,5 e será máximo se existir igualdade entre o número de espécies (Equação 4.20).

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i) * (\ln p_i) \quad (4.20)$$

Onde, p_i é a frequência de cada espécie, para i variando de 1 a S (Riqueza).

Embora o índice de Shannon-Weaver leve em consideração a uniformidade das abundâncias de espécies, é possível calcular esta medida separadamente. Assim, calculou-se a uniformidade, ou seja, o índice de equabilidade de Pielou (J') (Pielou, 1977), sendo a razão entre a diversidade obtida e a diversidade máxima, a qual seria possível em uma situação onde todas as espécies fossem igualmente abundantes (Equação 4.21). Neste caso $H = \ln(S)$. Assim, o valor de J' varia entre 0 e 1, onde 1 refere-se ao caso de igualdade na abundância de todas as espécies (Magurran, 1988).

$$J' = H'/H'_{max} \quad (4.21)$$

Onde, H'_{max} é o $\ln$ do número de espécie (s).

Para análise da similaridade florística qualitativa entre os diferentes SAF's, utilizou-se o índice de Sørensen (Equação 4.22). O valor de IS_s varia de 0 para nenhuma similaridade a 1 com similaridade completa, sendo que $IS_s < 0,50$ representa baixa similaridade florística (Brower et al. 1998).

$$IS_s = 2c / (a + b) \quad (4.22)$$

Onde, a e b = nº de espécies das comunidades A e B respectivamente e c é o nº de espécies comuns às comunidades.

Na etapa posterior estimou-se a biomassa e o carbono para cada classe agroflorestal. As estimativas de biomassa acima do solo podem ser obtidas pelo método direto (destrutivo) ou indireto (não destrutivo) (Rügnitz, 2009).

O método direto é mais acurado e eficaz, porém mais difícil de executar em função da necessidade de cortar e pesar todas as árvores de uma área. Em geral, trabalhos que utilizam o método direto baseiam-se em poucas e pequenas parcelas, com possibilidade de serem tendenciosamente escolhidas, com custo elevado em função do grande trabalho de campo e laboratório.

Já o método indireto é mais rápido e de custo inferior, não havendo necessidade de cortar, pesar e secar a vegetação, podendo ser amostrado em uma área mais extensa e um número maior de indivíduos, pois, utiliza variáveis mais facilmente obtidas no campo, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total. Porém, esse método está sujeito a erros de medição que nem sempre são mencionados (Higuchi et al., 1998; Hairiah et al., 2001).

Para este estudo, optou-se pela estimativa de biomassa e carbono por meio da utilização do método indireto em amostragem aleatória simples. Dois fatores foram decisivos para esta opção: o primeiro relacionado à elevada abrangência das áreas amostrais (120 unidades amostrais em diferentes propriedades rurais) e o segundo em função da impossibilidade de corte dos componentes vegetais existentes nos sistemas agroflorestais em estudo, pois os proprietários normalmente não permitem o corte.

(IV) Matriz Geográfica

- ✓ Correlações para os dados de 2005
- ✓ Correlações para os dados de 2008
- ✓ Simulações dos modelos de geração dos mapas síntese de carbono

Embora a *Escola Geográfica Espacial* não tenha evidenciado em seus pressupostos teórico-metodológicos a análise de questões específicas como a caracterização biofísica de populações vegetais em sistemas de produção agroflorestal, seus métodos baseados na matriz geográfica proposta por Berry (1964) foram aplicados para a análise das correlações obtidas pelos modelos gerados entre as variáveis espectrais e a biomassa/carbono de SAF's. Estas informações foram integradas em um ambiente SIG, das quais obtiveram-se os modelos com a maior correlação. Posteriormente, eles permitiram gerar simulações de mapas síntese de carbono de cada classe agroflorestal para a região de estudo, onde foi possível analisar ainda sua distribuição espacial.

Para a sistematização dos dados considerou-se a proposta de Berry (1964), onde a partir do uso da adaptação da matriz geográfica (Figura 4.4) realizou-se três formas de tratamento da

informação de campo: a) Características (horizontal), b) Locais (vertical) e c) Temporal (profundidade). As características horizontais (entendidas como a “situação”), denominadas variáveis, foram divididas em três grupos de obtenção indireta: índices de vegetação de razão simples, normalizados e complexos gerados a partir de imagens de satélite. Já a verticalidade (entendidas como o “sítio”) foi estabelecida a partir do mapeamento do estoque de carbono dos locais/áreas de SAF existentes (unidades areais). E, finalmente, a temporalidade foi definida em função das distintas datas das imagens analisadas.

		Variáveis		Unidades Arais			
				SAF 1 (Mg C ha ⁻¹)	SAF 2 (Mg C ha ⁻¹)	SAF 3 (Mg C ha ⁻¹)	SAF 4 (Mg C ha ⁻¹)
Variáveis		Unidades Arais					
		SAF 1 (Mg C ha ⁻¹)	SAF 2 (Mg C ha ⁻¹)	SAF 3 (Mg C ha ⁻¹)	SAF 4 (Mg C ha ⁻¹)		
Índices de Vegetação (Razão Simples)	a						
	b						
	c						
Índices de Vegetação (Normalizados)	a						
	b						
	c						
Índices de Vegetação (Complexos)	a						
	b						
	c						

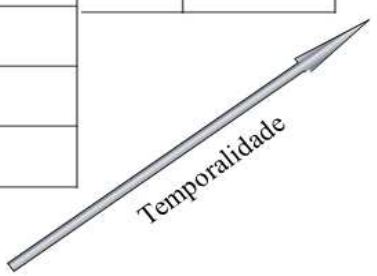


Figura 4.4. Modelo de matriz proposta por Berry (1964) adaptada para esse trabalho.

Dessa forma, foi possível analisar a correlação dos dados biofísicos da vegetação dos SAF e dos dados espectrais das imagens de satélite, na forma de matriz x/y/z, colocando as variáveis: Índices de vegetação dos diferentes grupos, como o RVI, NDVI, PVI e SAVI nas linhas, o

estoque de carbono nas unidades areais (SAF 1, SAF 2, SAF 3, SAF 4) nas colunas, e a temporalidade (datas das imagens) analisadas ao longo do eixo. Pode-se considerar que esta organização exige uma classificação taxonômica, uma resolução espacial (segmentação da área geográfica) e uma resolução temporal (imagem analisada).

Assim, foi possível ler (analisar) uma linha da matriz, que representa a distribuição de uma variável (índice de vegetação) no espaço (diferentes SAF). Analogicamente foi possível ler (analisar) uma coluna, a qual significa uma unidade areal (estoque de carbono no SAF) com as variáveis (índices de vegetação). Incluído o eixo z, o qual tornou a matriz tridimensional, foi possível obter informações sobre razões ao longo do eixo taxonômico, ou seja, associar a questão tempo às leituras (análises).

Para Berry (1964), toda e qualquer análise geográfica pode ser sumarizada em 10 abordagens diferentes, que podem, por sua vez, ser operacionalizadas sobre a matriz geográfica, conforme proposto na Tabela 4.4 (Retis, 2007). Ressalta-se que esta matriz é uma tentativa de síntese de análise regional, estruturada por meio de colunas (características / “o quê”) e linhas (lugares / “onde”). Assim sendo, as células resultantes do cruzamento das colunas com as linhas constituem-se nos “fatos geográficos”, que apresentam uma característica e um lugar (posição).

Tabela 4.4. Abordagens através da Matriz Geográfica (Fonte: Adaptado Retis, 2007).

Operação na Matriz		Análise Geográfica
(a)	Arranjo de células em uma linha	Distribuições espaciais
(b)	Arranjo de células em uma coluna	Associações de atributos
(c)	Comparação de linhas	Covariações espaciais
(d)	Comparação de colunas	Diferenciação de áreas
(e)	Estudo de uma submatriz	Diferenciação de áreas, ampliada
(f)	Comparação de uma linha no tempo	Mudanças na distribuição espacial
(g)	Comparação de uma coluna no tempo	Evolução de uma área
(h)	Comparação de linhas no tempo	Mudanças nas associações espaciais
(i)	Comparação de colunas no tempo	Estudo de diferenciação de áreas
(j)	Estudo de uma submatriz no tempo	Processo incluindo várias análises

O resultado deste arcabouço teórico-metodológico foi aplicado na compreensão dos arranjos espaciais da distribuição da biomassa/carbono nos diferentes SAF's. Esta sistematização

permitiu estabelecer procedimentos de análises de regressão entre as variáveis inerentes à resposta espectral da vegetação (índices de vegetação) e características biofísicas (carbono) das unidades territoriais de SAF, possibilitando ainda a análise por grupo de índice, ano da imagem e posterior espacialização do carbono para a área de estudo.

Na última etapa, os dados obtidos pela espacialização da estimativa do estoque de carbono nas diferentes classes agroflorestais por meio dos modelos gerados (mapas de carbono) foram analisados quanto à exatidão a partir dos índices de acurácia descritos por Congalton e Green (1999): Exatidão Global (Equação 4.23), Kappa Index of Agreement (Equação 4.24) e Tau (Equação 4.25).

$$G = [\sum_{i=1}^M nii]/N \quad (4.23)$$

$$K = [Po - Pc]/[1 - Pc] \quad (4.24)$$

$$T = [Po - 1/M]/[1 - 1/M] \quad (4.25)$$

Onde, $\sum_{i=1}^M nii$ = somatório dos pontos corretamente classificados dentro de cada classe; N = número total de pontos contemplados na matriz; Po = proporção de unidades que concordem plenamente; Pc = proporção de unidades que concordam por casualidade e M = número de categorias na classificação.

Considerou-se como pontos de concordância, aqueles cujos valores observados nas imagens geradas pelos modelos apresentaram-se entre os valores mínimos e máximos observados a partir do inventário de campo.

5. DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE ESTIMATIVA DE CARBONO

5.1. Cálculo da Biomassa/C nos Sistema Agroflorestais das Áreas Amostrais

5.1.1. Procedimentos utilizados para na amostragem *in loco*

Conforme o IPCC (2003), a biomassa pode ser dividida em três categorias: a) Biomassa viva acima do solo (*above-ground biomass*) composta por toda a biomassa acima do nível do solo incluindo tronco, galhos, casca, sementes e folhas; b) Biomassa das raízes (*below-ground biomass*) composta pelas raízes vivas com diâmetro de base superior a 2mm e c) Biomassa morta ou necromassa (*dead wood biomass*), inerente a toda biomassa lenhosa não viva e não contida na serrapilheira fina, seja em pé, no chão ou no solo. Para este estudo trabalhou-se exclusivamente amostragem e a estimativa de carbono na biomassa viva acima do solo.

Com apoio de imagem TM do satélite Landsat 5 (Figura 5.1), identificou-se a distribuição dos lotes dos agricultores associados à CAMTA (Figura 5.2) e não associados, a rede hidrográfica (Figura 5.3) e a rede viária (Figura 5.4). A partir disso, áreas potenciais para os levantamentos de campo foram selecionadas. Foram realizadas duas missões de campo, a primeira em outubro de 2005 e a segunda em outubro de 2008.

Os produtores agroflorestais foram entrevistados, tomando-se informações sobre o histórico de uso e ocupação da terra e os arranjos produtivos implantados. No total, foram inventariadas 40 parcelas amostrais constituídas por três unidades cada, totalizando 120 unidades amostrais (Figura 5.5), constituídas de quadrados de 10 x 10m, 3 x 3m e 1 x 1m, conforme organograma apresentado na Figura 5.6 e exemplificado na Figura 5.7.



Figura 5.1. Composição colorida (3/4/5 – B/G/R-TM Landsat 5) da região de estudo.

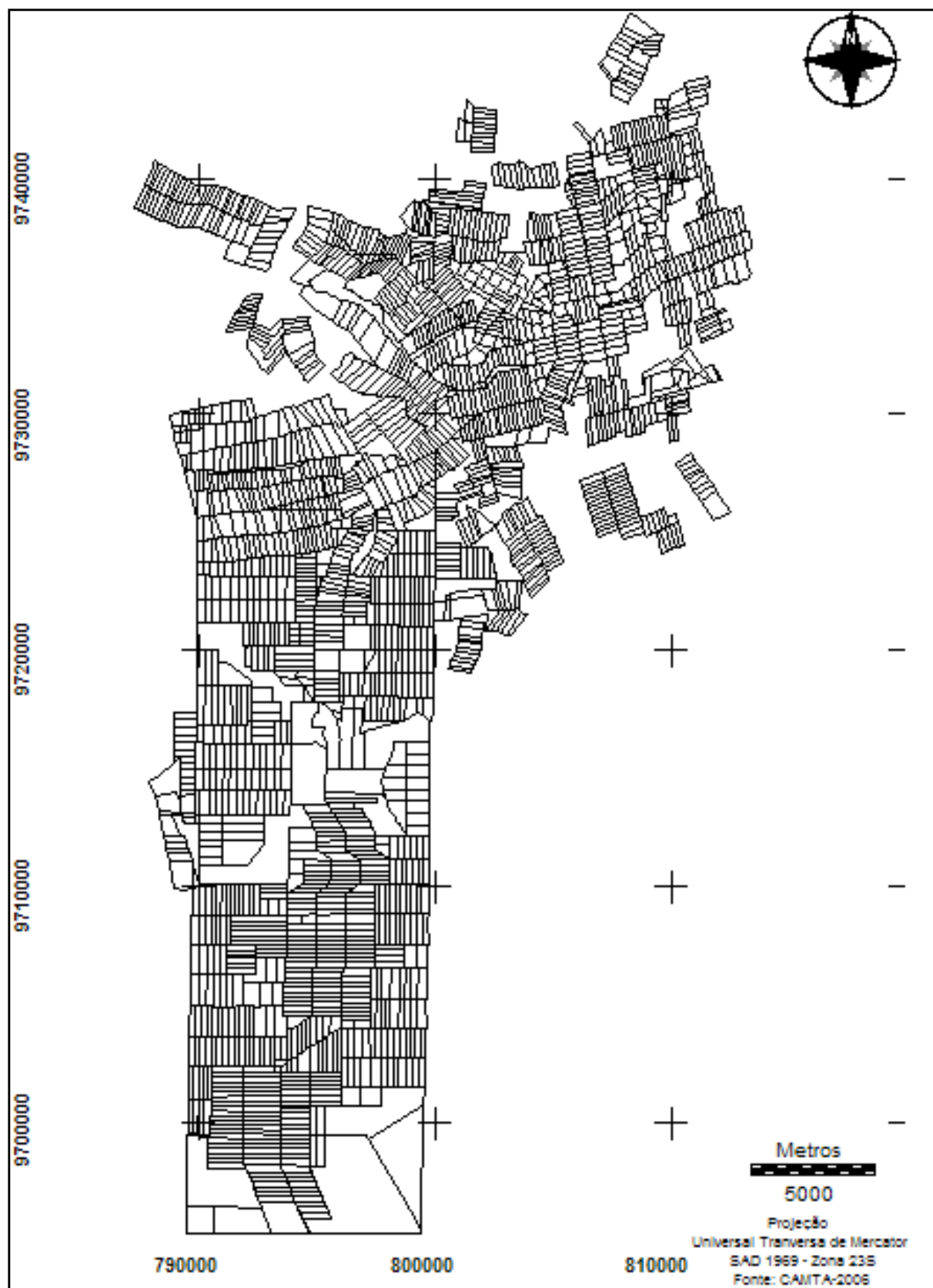


Figura 5.2. Lotes rurais dos agricultores associados à CAMTA (2005).

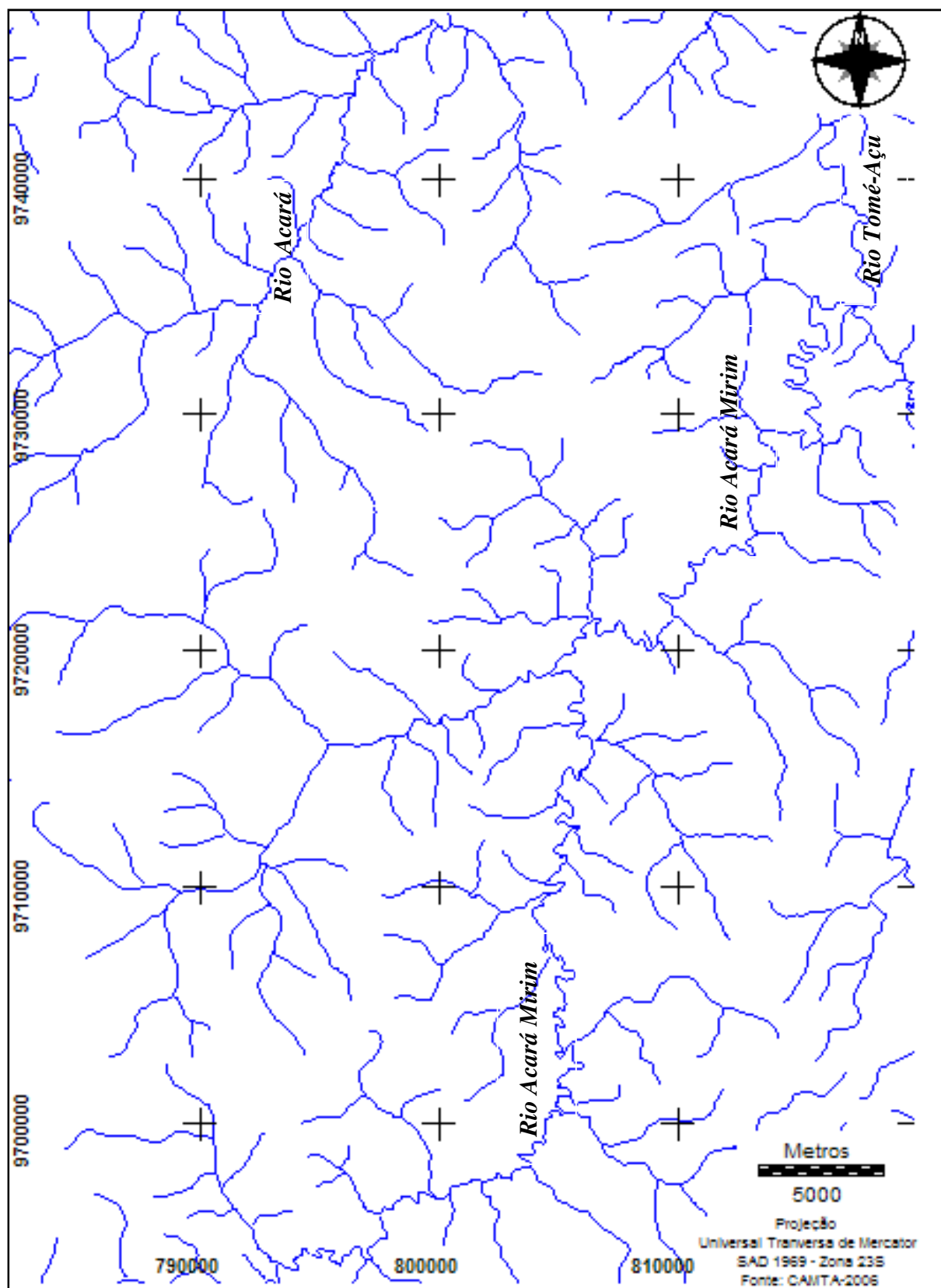


Figura 5.3. Rede hidrográfica da região de estudo (2005).

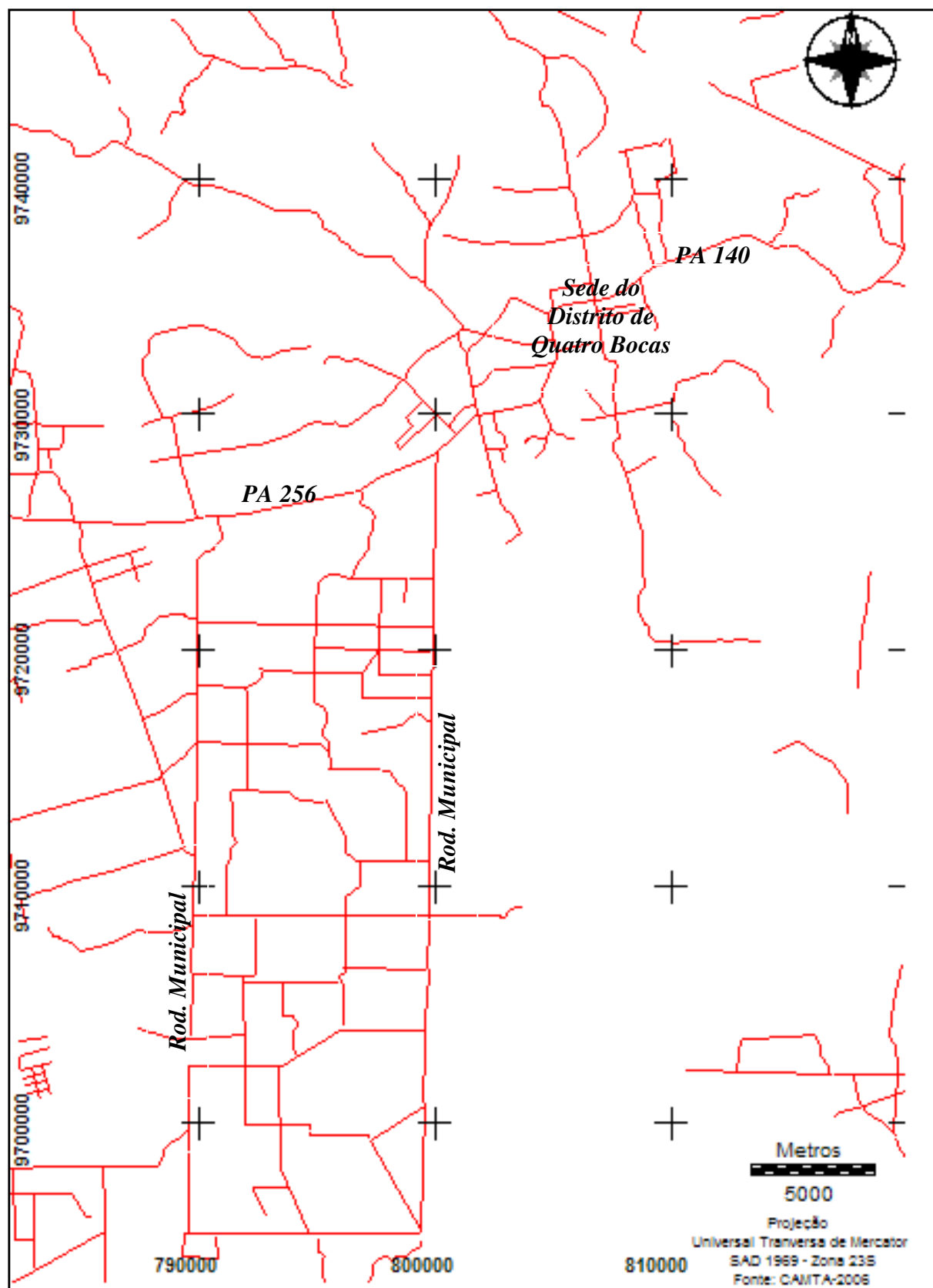


Figura 5.4 Rede viária da região de estudo (2005).



Figura 5.5. Composição colorida, unidades amostrais, lotes rurais, rede hidrográfica e viária (2009).

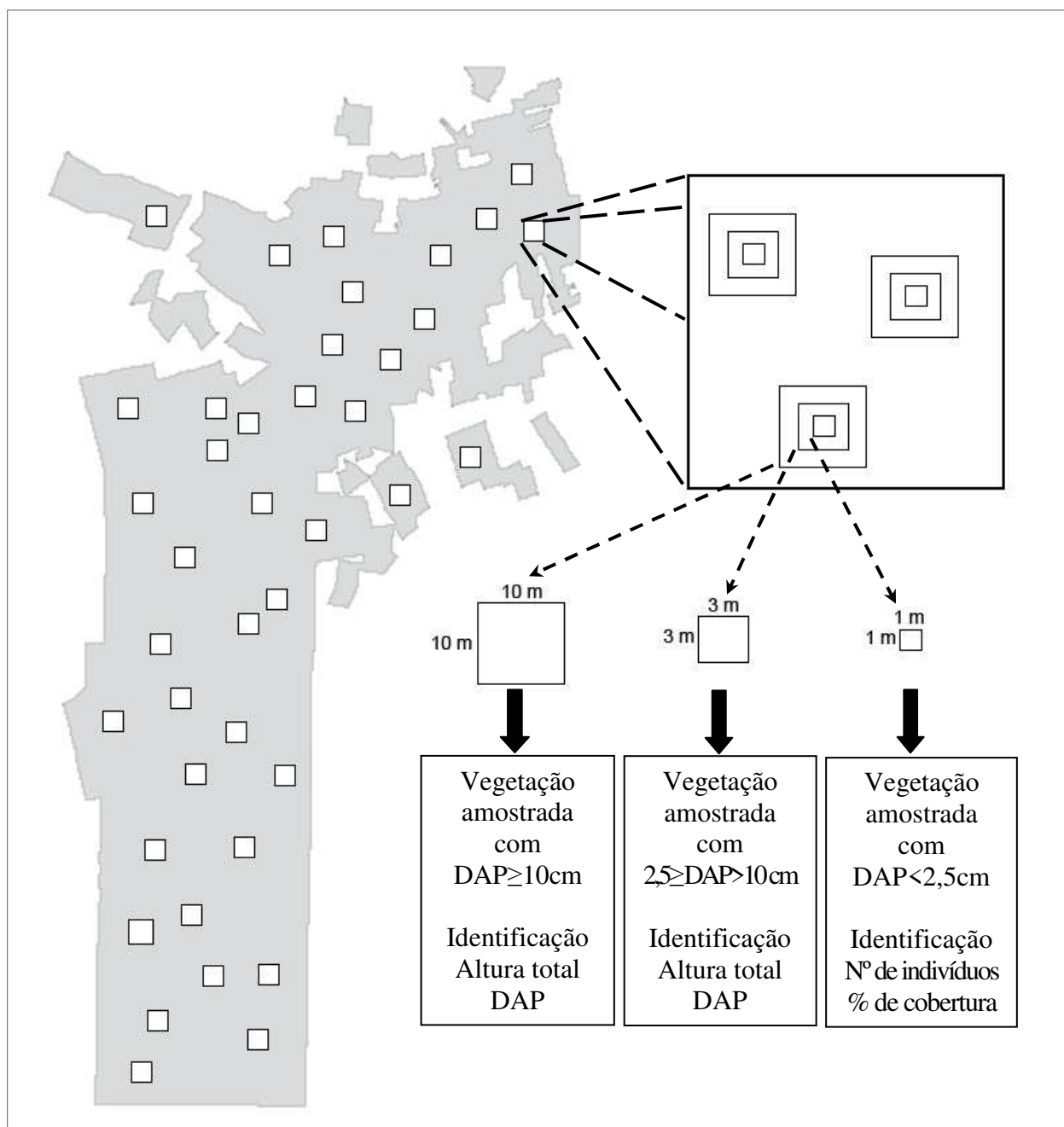


Figura 5.6. Organograma da estratégia amostral para os sistemas agroflorestais da área de estudo.

Nas unidades amostrais de 10 x 10m, foram identificados e mensurados a altura total (H) e o diâmetro à altura do peito (DAP) para todos os indivíduos com DAP igual ou superior a 10cm. Nas sub-unidades de 3 x 3m, estes mesmos parâmetros foram mensurados para os indivíduos com DAP entre 2,5 cm e 10cm. Nas sub-unidades de 1 x 1m foram identificados,

quantificados e estimado o percentual de cobertura do solo dos indivíduos com DAP inferior a 2,5 cm (Anexo 1).



Figura 5.7. Exemplificação do sistema amostral adotado na obtenção dos parâmetros biométricos.
Fonte: Bolfe, 2005.

As coordenadas geográficas das unidades amostrais foram locadas através de sistema de posicionamento global (GPS). Informações sobre a idade dos sistemas agroflorestais implantados, % da cobertura de copa, % cobertura de herbáceas, % liteira, % solo, arranjo florístico principal, histórico de uso e ocupação e nome dos produtores rurais também foram coletadas (Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4).

Dentre as principais espécies encontradas nos diferentes arranjos florísticos, destacam-se: Abacate (ABA), Açaí (ACI), Andiroba (AND), Araça (ARA), Bacuri (BAC), Banana (BAN), Cacau (CAC), Café (CAF), Cajazeiro Tapereba (CAJ), Castanha do Pará (CAS), Cedro (CED), Cupuaçu (CUP), Derris (DER), Freijó (FRJ), Glirecídea (GLI), Graviola (GRA), Ipê Amarelo (IPA), Limão (LIM), Mangostão (MAN), Mogno (MOG), Nim (NIM), Palheteira (PAL), Pará-Pará (PPA), Paricá (PAR), Pequiá (PEQ), Pimenta-do-Reino (PIM), Pochori (POC), Rambotã (RAM), Seringueira (SER), Tatajuba (TAT), Teca (TEC), Virola (VIL).

Tabela 5.1. Informações obtidas pelo inventário agroflorestal (parcelas amostrais de 1 a 10).

Parcela	Anos	Unidades Amostrais (mE) (mN)		% Copa	% Herb.	% Liteira	% Solo	Arranjo Florístico	História de Uso	Produtor Rural
1	3	803651	9729360	40	60	35	5	GRA x CAC x DER x ACI x CUP	Floresta/Pimental/ Fruticultura/SAF	A
		803623	9729348							
		803493	9729308							
2	14	801741	9724638	60	40	55	5	SER x CAC	Pimental / SAF	B
		801710	9724740							
		801645	9724856							
3	15	803065	9721204	80	40	55	5	CAS x CAC	Pimental / SAF	C
		803010	9721370							
		802815	9721294							
4	13	802860	9722568	65	65	25	10	SER x CAS x CAC x PAR x PPA	Floresta/Pimental/ Fruticultura/SAF	C
		802813	9722616							
		802749	9722766							
5	2	801670	9725482	20	15	35	50	GRA x PIM	Pimental / SAF	C
		801700	9725206							
		801744	9725098							
6	6	802374	9724850	45	52	45	3	CAC x ACI x PIM	Pimental / SAF	D
		802500	9724884							
		802458	9725094							
7	16	802154	9725523	70	35	35	30	CAC x ACI x SER	Floresta/Pimental/ Fruticultura/SAF	D
		802159	9725340							
		802192	9725100							
8	19	798240	9728490	60	20	70	10	TEC x CUP x LIM	Floresta/Pimental/ Fruticultura/SAF	E
		798365	9728378							
		798462	9728438							
9	7	798572	9728278	40	55	40	5	ACI x CAC	Pimental / SAF	F
		798516	9728208							
		798604	9728142							
10	7	798229	9728928	25	50	30	20	CUP x PIM x ACI x LIM	Pimental / SAF	G
		798298	9729068							
		798416	9729122							

Tabela 5.2. Informações obtidas pelo inventário agroflorestal (parcelas amostrais de 11 a 20).

Parcela	Anos	Unidades Amostrais (mE)	Unidades Amostrais (mN)	% Copa	% Herb.	% Liteira	% Solo	Arranjo Florístico	História de Uso	Produtor Rural
11	14	798235	9729160	60	40	50	10	CAC x FRJ x ACI x SER x PAL	Pimental / Fruticultura SAF	H
		798074	9728946							
		797938	9728768							
12	13	797249	9728634	65	60	30	10	SER x CAC	Pimental / SAF	
		797267	9728524							
		797265	9728498							
13	20	797353	9728436	70	50	45	5	AND x CAC	Floresta/Pimental / SAF	I
		797510	9728564							
		797615	9728662							
14	12	806689	9734208	55	55	35	10	CUP x ACI x TEC x MOG	Pimental/ Fruticultura / SAF	J
		806628	9734278							
		806515	9734276							
15	2	794213	9708172	40	35	50	15	ACI x PIM x CUP	Pimental / SAF	K
		794365	9708162							
		794480	9708126							
16	3	794384	9716484	45	30	60	10	ACI x CAC x BAN	Pimental / Fruticultura / SAF	L
		794469	9716482							
		794500	9716416							
17	25	794889	9716130	80	15	75	10	FRJ x CAS x MOG x ACI x CAC x VIL x PAL	Floresta/Pimental / SAF	L
		794726	9716058							
		794561	9716044							
18	35	793815	9716756	80	40	55	5	TAT x MOG x CAS x CAC x BAC x FRJ x ACI	Floresta/Pimental / SAF	M
		793533	9716720							
		793524	9716716							
19	2	793000	9717154	15	55	15	30	CUP x PIM	Pimental / SAF	M
		793100	9717232							
		793180	9717120							
20	3	806689	9734208	55	55	35	10	CUP x ACI x TEC x MOG	Pimental / SAF	N
		806628	9734278							
		806515	9734276							

Tabela 5.3. Informações obtidas pelo inventário agroflorestal (parcelas amostrais de 21 a 30).

Parcela	Anos	Unidades Amostrais (mE)	Unidades Amostrais (mN)	% Copa	% Herb.	% Liteira	% Solo	Arranjo Florístico	História de Uso	Produtor Rural
21	7	802408	9730200	35	25	50	25	CAC x TEC x ACI x PIM	Floresta/Pimental/ SAF	E
		802293	9730194							
		802220	9730160							
22	1	806069	9734113	10	60	30	10	BAN x ARA x CAC	Floresta Secundária/ SAF	J
		806074	9734054							
		806150	9734098							
23	2	804605	9740073	10	40	40	20	BAN x IPA	Floresta Secundária/ SAF	O
		804616	9740186							
		804697	9740104							
24	11	806090	9741748	50	20	30	50	ACI x CAC	Pimental / SAF	P
		806022	9741862							
		805972	9741815							
25	19	806155	9741867	85	60	35	5	CAC x ACI x BAN x PAR x PPA x ANO	Pimental / SAF	P
		806186	9741914							
		806188	9741809							
26	7	806359	9741439	40	30	40	30	PAR x CAC x ACI x PIM	Pimental / SAF	P
		806294	9741450							
		806301	9741501							
27	4	805258	9736924	80	30	30	40	ACI x GLI x CUP x NIM x PIM	Pimental / SAF	Q
		805240	9736872							
		805275	9736838							
28	20	804715	9735924	80	60	30	10	GLI x CAJ x MAG x PIM	Pimental / Fruticultura / SAF	Q
		804745	9735959							
		804831	9735911							
29	31	815200	9734369	90	95	5	0	AND x CAC x CAF x PIM	Pimental / SAF	R
		815050	9764451							
		814987	9734538							
30	7	815370	9734515	50	30	40	30	BAN x POC x RAM x CAS	Pimental / Fruticultura / SAF	R
		815418	9754524							
		815448	9734522							

Tabela 5.4. Informações obtidas pelo inventário agroflorestal (parcelas amostrais de 31 a 40).

Parcela	Anos	Unidades Amostrais (mE)	Unidades Amostrais (mN)	% Copa	% Herb.	% Liteira	% Solo	Arranjo Florístico	História de Uso	Produtor Rural
31	26	816415	9735389	75	50	40	10	SER x CUP	Pimental / Fruticultura / SAF	R
		816525	9735396							
		816459	9735498							
32	12	791478	9722378	75	5	90	5	CAC x MOG x BAC	Pimental / SAF	S
		791609	9722338							
		791710	9722424							
33	3	791667	9720771	40	45	30	25	CUP x MOG x CAC x BAN x PIM	Pimental / SAF	S
		791746	9720938							
		791634	9720964							
34	3	791408	9723753	25	60	20	20	CAC x BAN x PIM x PEQ x CED	Pimental / SAF	S
		791392	9723702							
		791368	9723862							
35	10	791040	9724399	70	70	20	10	SER x CAC	Pimental / SAF	S
		791089	9724277							
		791160	9724204							
36	7	795721	9724667	50	50	40	10	CAC x ACI x PIM	Pimental / SAF	T
		795765	9724780							
		795855	9724706							
37	4	798988	9727697	40	10	80	10	CAC x BAN x ACI x CED x MOG	Pimental / SAF	U
		798964	9727644							
		798858	9727507							
38	2	802868	9717196	40	30	20	50	BAN x PIM x CAC x CAS	Pimental / SAF	D
		802958	9717327							
		803125	9717315							
39	34	791875	9718945	80	60	30	10	CACx CUPx ACI x FRJx MAGx BANx MOGx ABA	Floresta Secundária / Pimental / SAF	V
		791784	9718972							
		791868	9718832							
40	15	792278	9718443	60	50	40	10	SER x CAC x CUP x ACI	Floresta Secundária / Pimental / SAF	X
		792195	9718535							
		792264	9718636							

5.1.2. Caracterização estrutural e florística dos sistemas agroflorestais

Nos SAF estudados, foram inventariados 5.697 indivíduos com DAP superior a 2,5cm (1.424,3 indivíduos/ha), pertencentes a 29 famílias botânicas e 54 espécies distintas. Estes números são semelhantes aos encontrados por Santos et al. (2004), que observou a ocorrência de 27 famílias e 61 espécies e por Ribeiro et al. (2004) (26 famílias, 59 espécies) ambos ao analisarem SAF da região do município de Cametá (PA). Eles foram inferiores ao encontrado por Rodrigues e Silveira (2006) que estudou a composição florística de sistemas agroflorestais no vale do Rio Acre, os quais observaram 94 espécies de 38 famílias botânicas, e superiores aos observados por Vieira et al. (2007) (18 famílias e 28 espécies) ao analisar agroflorestas do município de Igarapé-Açu (PA).

Smith et al. (1998), ao estudarem sistemas agroflorestais em quatro estados da Amazônia, observaram a existência de diversos modelos implantados, porém, esses modelos possuem de duas a seis espécies somente. Em pesquisa realizada por Wandelli e Souza (2000) na Amazônia central, foi verificado que dos 181 SAF analisados, 70% possuíam apenas três componentes arbóreos. Já no Acre, cerca de 74% de uma amostra de 170 sistemas agroflorestais possuem até 10 espécies, principalmente nas sistemas cujo planejamento considerou fundamentalmente aspectos econômicos (Peneireiro et al. 2000). Em estudos realizados no Vale do Rio Acre, Nobre (1998) destaca que os agricultores desenvolvem SAF orientados principalmente para geração de renda. Dessa forma, os sistemas implantados geralmente caracterizam-se pelo consórcio de poucas espécies, definidas principalmente para atender o mercado consumidor.

A partir da análise dos parâmetros da estrutura da vegetação dos SAF analisados: (diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (H), área basal (G) e % de cobertura de copa (C)), foi definida uma proposta de esquema classificatório baseado em quatro classificações agroflorestais (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) para a região de Tomé-Açu (Tabela 5.5). Esta classificação foi testada a partir de dados obtidos em campo pelo inventário agroflorestal e análises estatísticas descritivas foram realizadas para validar o sistema de classificação proposto.

Tabela 5.5. Dados florísticos e estruturais dos quatro sistemas agroflorestais propostos para Tomé-Açu, PA.

Dados/Parâmetros	Classificações Agroflorestais Propostas				MS
	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	
Nº de Famílias	8	15	15	25	15,8
Nº de Espécies	9	19	19	40	21,8
N (ni/ha)	747	1.770	1.723	1.457	1.424,3
C (%)	29,5	45,0	63,0	78,0	53,9
G (m ² /ha)	2,3	7,2	20,4	36,3	16,5
DAP médio (cm)	5,2	6,4	10,7	13,7	9,0
DAP (s)	3,6	3,3	6,0	11,4	-
DAP (CV)	68,9	50,8	56,2	83,1	-
H média (m)	2,9	3,7	5,9	7,4	5,0
H (s)	1,4	2,0	2,9	5,4	-
H (CV)	48,3	53,5	49,9	71,9	-

Onde: (N) abundância, (C) cobertura de copa, (G) área basal, (DAP) diâmetro à altura do peito médio, (H) altura total média, (s) desvio padrão, (CV) coeficiente de variação e (MS) média dos SAF.

Conforme dados do inventário de campo (Tabela 5.5 e Figura 5.8), observa-se que o SAF 1 apresentou o menor número de famílias (8) e de espécies (9), fato relacionado com a fase inicial de implantação dessas áreas (até dois anos). A abundância absoluta (N) foi de 747 indivíduos/ha havendo recobrimento de copa (C) de 29,5%. O DAP médio foi de 5,2cm, obtendo-se a área basal (G) de 2,3m²/ha e altura média de 2,9m.

Observou-se para o SAF 2, 19 espécies distintas de 15 famílias. A abundância de 1.770indiv./ha foi a maior observada, sendo relacionada, provavelmente, ao sistema de manejo implantado, uma vez que se encontrava em fase inicial de produção incluindo espécies como *Theobroma cacao* L., *Theobroma grandiflorum* Schum. e *Euterpe oleracea* Mart. O recobrimento de copa foi de 45%, o DAP médio mensurado foi de 6,4cm, obtendo-se a área basal de 7,2m²/ha e a altura média foi de 3,7m.

O SAF 3 apresentou riqueza igual ao SAF 2, com 19 espécies pertencentes a 15 famílias. A abundância absoluta observada foi de 1723 indivíduos/ha, havendo recobrimento de copa de

63%. O DAP médio foi de 10,7cm, obtendo-se a área basal de 20,4m²/ha e altura média observada de 5,9m.

No SAF 4 foi registrado o maior número de espécies (40) de 25 famílias. A abundância foi de 1457 indivíduos com recobrimento de 78%. O DAP médio mensurado foi de 13,7cm, obtendo-se a área basal de 36,3m²/ha e a altura média foi de 7,4m.

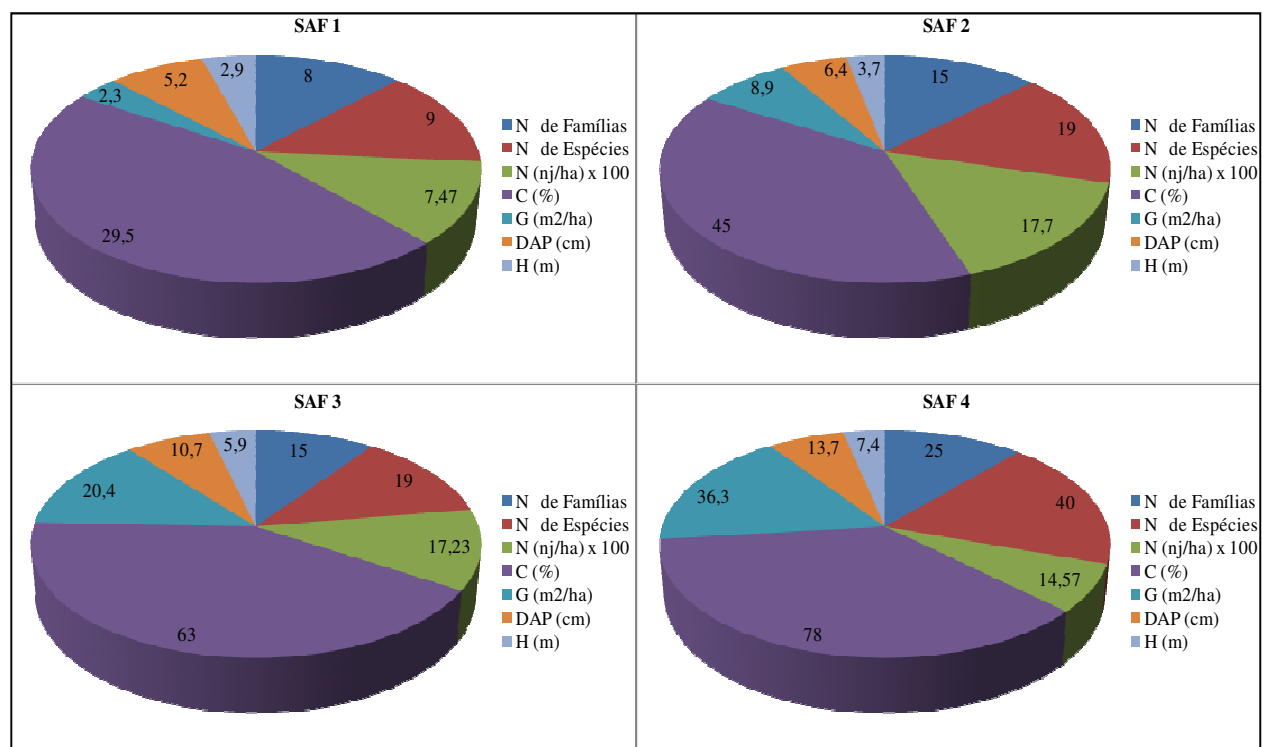


Figura 5.8. Parâmetros observados nas diferentes classificações agroflorestais.

Considerando os índices médios para cada classe agroflorestal (Figura 5.8), apresenta-se na Tabela 5.6 e na Figura 5.9 uma representação esquemática para os quatro sistemas agroflorestais em Tomé-Açu, PA.

Tabela 5.6. Parâmetros e representação esquemática das classes agroflorestais observadas.

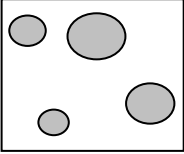
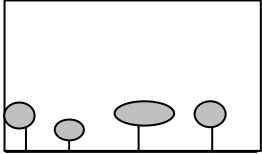
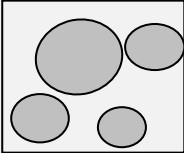
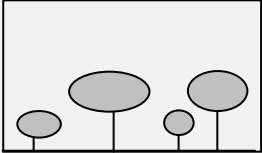
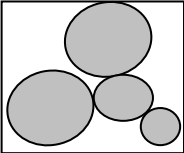
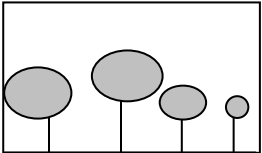
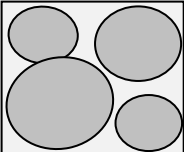
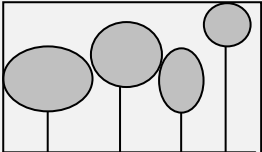
Classificação	Parâmetros Médios esperados	Cobertura de copa esperada	Perfil Esperado
SAF 1	Idade: 0 a 2 anos Área basal: 0 a 5m ² /ha Cobertura de copa: 0 a 35% Altura dos indivíduos: 0 a 3m		
SAF 2	Idade: 2 a 5 anos Área basal: 5 a 10m ² /ha Cobertura de copa: 35 a 50% Altura dos indivíduos: 3 a 5m		
SAF 3	Idade: 5 a 12 anos Área basal: 10 a 30m ² /ha Cobertura de copa: 50 a 70% Altura dos indivíduos: 4,5 a 6m		
SAF 4	Idade: acima de 12 anos Área basal: acima de 30m ² /ha Cobertura de copa: acima de 70% Altura dos indivíduos: acima de 7m		



Figura 5.9. Gravura esquemática das classes agrofloretais observadas para os sistemas agrofloretais em Tomé-Açu, PA (2008).

As famílias com maior riqueza em espécies nos SAF analisados foram: a) Leguminosae: papilionoideae, Meliaceae e Moraceae e (5 spp.); b) Bignoniaceae e Leguminosae: mimosoideae (4 spp.); c) Annonaceae, Anacardiaceae e Rubiaceae (3 spp.), que, juntas, representam 54% de todas as espécies amostradas (Tabela 5.7).

Quatro espécies foram comuns em todos os SAF (Tabela 5.7), *Theobroma cacao* L. e *Theobroma grandiflorum* Schum., também destacadas por Mendes (2004) ao quantificar economicamente a contribuição dos SAF de Tomé-Açu e *Euterpe oleracea* Mart. e *Cecropia palmata* Willd. As espécies de maior abundância absoluta foram: *Theobroma cacao* L. (671), *Euterpe oleracea* Mart. (305), *Theobroma grandiflorum* Schum. (228) e *Hevea brasiliensis* (Willd. ex. Adr. de Juss) Muell.-Arg. (112), e que, juntas representaram 77% de todas os indivíduos amostrados. Ribeiro et al. (2004) e Vieira et al. (2007) também constataram em seus estudos as espécies *Theobroma grandiflorum* Schum. e *Euterpe oleracea* Mart. com o as mais frequentes em sistemas agroflorestais no Pará.

Dentre as espécies comuns a todos os SAF e de maior abundância, destacam-se as frutíferas. Outros autores (Homma et al., 1994; Ribeiro et al., 2004; Brilhante et al., 2004; Vieira et al., 2007) observaram que as agroflorestas conduzidas por agricultores da Amazônia apresentam em seus arranjos florísticos, principalmente, espécies frutíferas. Esta preferência está relacionada possivelmente com a demanda do mercado consumidor e pela segurança alimentar do núcleo familiar.

Tabela 5.7. Ocorrência das diferentes famílias e espécies nos SAF de Tomé-Açu, PA.

Família / Nome Científico	Nome Comum	Ocorrência				
		SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	Total
Anacardiaceae						
Mangifera indica L.	Manga				1	1
Spondias mombin L.	Cajazeiro Tapereba		1		2	3
Tapirira guianensis Aubl.	Tapiriri				1	1
Annonaceae						
Annona muricata L.	Graviola	27	2			29
Rollinia exsua (DC.ex Dunal) A.DC.	Envira fofa			1	2	3
Xylopia aromatica (Lam.) Mart.	Envira cana			1	2	3
Araliaceae						
Schefflera morototoni Aubl.	Morototó				1	1
Bignoniaceae						
Jacaranda copaia (Aubl.) D.Don	Pará para			1		1
Tabebuia alba (Cham.)	Ipê branco				1	1
Tabebuia pentaphylla Hemsl.	Ipê rosa		1			1
Tabebuia serratifolia (Vahl) Nichols	Ipê amarelo				1	1
Boraginaceae						
Cordia goeldiana Huber	Freijó			6	8	14
Caryocaraceae						
Caryocar villosum Aubl.	Pequiá	2			1	3
Chrysobalanaceae						
Licania kunthiana Hook. f.	Caripé				3	3
Clusiaceae						
Garcinia mangostana L.	Mangostão		2		2	4
Platonia insignis Mart.	Bacuri			2	14	16
Euphorbiaceae						
Hevea brasiliensis (Willd. ex A.Dr. de Juss.) Muell.-Arg.	Seringueira			96	16	112
Flacourtiaceae						
Banara guianensis Aubl.	Andorinha			2	6	8
Lacistemaceae						
Lacistema pubescens Mart.	Cafezinho				1	1
Lauraceae						
Licaria puchury-major (Mart.) Kosterm.	Pochori		3			3
Persea americana Mill.	Abacate		2		2	4
Lecythidaceae						
Bertholletia excelsa H.B.K.	Castanha do Pará		4	2	9	15
Leguminosae: fabaceae						
Erythrina sp.	Eretrina				1	1
Leguminosae: mimosoideae						
Enterolobium schomburgkii (Benth.)	Fava de orelha		2			2
Inga alba Willd.	Ingá cordão				1	1
Schizolobium amazonicum Herb.	Paricá		3	1	6	10
Stryphnodendron pulcherrimum (Willd.) Hochr.	Paricazinho				2	2

Tabela 5.7. (Continuação).

Família / Nome Científico	Nome Comum	Ocorrência				
		SAF1	SAF2	SAF3	SAF4	Total
Leguminosae: papilionoideae						
Bowdichia nitida Spruce	Sucupira Amarela				1	1
Clitoria racemosa G. Don.	Palheteira			3	2	5
Derris sp.	Derris		13			13
Erythrina fusca Lour.	Mulungu				2	2
Gliricidia sp.	Glirecidia		32		6	38
Melastomataceae						
Miconia sp.	Papa terra				1	1
Meliaceae						
Azadirachta indica A. Juss.	Nim		1			1
Carapa guianensis Aubl.	Andiroba			1	25	26
Kaya ivorensis (A. Chev)	Mogno Africano			7		7
Swietenia macrophylla King	Mogno			3	6	9
Cedrela odorata L. N.	Cedro	1				1
Moraceae						
Bagassa guianensis Aubl.	Tatajuba				1	1
Cecropia palmata Willd.	Embaúba	4	2	6	4	16
Maquira sclerophylla (Ducke)	Muiratinga				1	1
Musa x paradisiaca L.	Bananeira	37				37
Virola surinamensis (Rol. ex Rottb.)	Virola				1	1
Myrtaceae						
Myrcia sp.	Araça	2				2
Palmae						
Euterpe oleracea Mart.	Açaí	12	98	169	26	305
Rubiaceae						
Alibertia edulis (Rich.) A. Rich.	Puruí				2	2
Borreria latifolia Schum.	Rama verde			1		1
Coffea arabica L.	Café				1	1
Rutaceae						
Citrus limonia Osbeck	Limão		8		62	70
Sapindaceae						
Nephelium lappaceum L.	Rambotã		1			1
Sterculiaceae						
Theobroma cacao L.	Cacau	75	256	161	179	671
Theobroma grandiflorum Schum.	Cupuaçu	64	93	53	18	228
Verbenaceae						
Tectona grandis Lf.	Teca		7		16	23
Não Identificada						
Não identificada	Não identificada			1		1
Total		224	531	516	437	1708

Nas tabelas 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11 são apresentados os parâmetros para a análise estrutural da vegetação de cada classificação agroflorestal proposta (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4). *Theobroma cacao* L. foi a espécie mais abundante (média de 566 indiv./ha), seguido de *Euterpe oleracea* Mart. (média de 254 indiv./ha), *Theobroma grandiflorum* Schum. (média de 190 indiv./ha) e *Hevea brasiliensis* (Willd. ex. Adr. de Juss) Muell.-Arg. (média de 186 indiv./ha). Juntas, elas apresentaram densidade relativa de 80,50% dos SAF analisados (38,4; 15,6; 15,1 e 11,3%, respectivamente). A abundância média observada (1424,3 indiv./ha) é inferior às médias observadas em outros SAF no Pará, 2.800 indiv./ha por Queiroz e Mochiutti (2000) e 3.009 indiv./ha por Santos (2004).

A área basal média foi 16,5 m²/ha, sendo o SAF 4 aquele que apresentou a maior área basal (36,34 m²/ha) e o SAF 1 a menor (2,28 m²/ha). No SAF 1 a maior área basal (0,73 m²/ha) foi observada para *Theobroma cacao* L. e *Theobroma grandiflorum* Schum., ocasionada pelas maiores frequências dessas espécies (250 e 213 indiv./ha). No SAF 2, *Theobroma cacao* L. também apresentou a maior área basal (2,37 m²/ha) e maior abundância (853 indiv./ha). A espécie *Hevea brasiliensis* (Willd. ex. Adr. de Juss) Muell.-Arg. teve a maior área basal (8,88 m²/ha) no SAF 3 apesar de abundância inferior ao *Euterpe oleracea* Mart. e *Theobroma cacao* L. Já no SAF 4 a maior área basal foi observada para a *Carapa guianensis* Aubl. (7,06 m²/ha), mesmo com baixa abundância (83 indiv./ha). Outras espécies pouco abundantes também se destacaram com grande área basal no SAF 4: *Bertholletia excelsa* H.B.K. (3,54 m²/ha), *Erythrina fusca* Lour. (3,08 m²/ha) e *Tectona grandis* Lf. (2,33 m²/ha), fator relacionado aos valores elevados de DAP dos indivíduos dessas sp.

Quanto à dominância relativa, observou-se média para os SAF de 50,1% para três espécies (*Theobroma cacao* L., *Theobroma grandiflorum* Schum. e *Euterpe oleracea* Mart.). A maior dominância do cacaueiro (média de 24,9%) se deve especialmente ao fato da implantação de extensas áreas sob esse sistema de cultivo a partir da década de 80 na região, em função de seu elevado valor comercial. Por outro lado o *Euterpe oleracea* Mart. (14,7%) e o *Theobroma grandiflorum* Schum. (10,5%) foram implantados, principalmente, na década de 90 pela diversidade de uso de seus produtos. As demais espécies (51) representam 49,9% da dominância, dentre essas espécies, destaca-se a dominância elevada em alguns SAF como a *Annona muricata* L. (9,46%) no SAF 1, *Gliricidia* sp. (8,41%) e *Bertholletia excelsa* H.B.K. (7,36%) no SAF 2, a *Hevea brasiliensis* (Willd. ex. Adr. de Juss) Muell.-Arg. (43,62%) no SAF 3 e a *Carapa guianensis* Aubl. (7,06%) no SAF 4. Estas foram implantadas em anos diferentes em função da diversidade dos produtos (madeireiros e não-madeireiros) dessas sp.

Tabela 5.8. Parâmetros florísticos da classificação do SAF 1.

Família	Nome Científico	Nome Comum	Na	N	Fa	Fr	G	Dr	Dor	IVI
Sterculiaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	75	250	0,40	31,58	0,73	33,48	32,24	97,30
Sterculiaceae	<i>Theobroma grandiflorum</i> Schum.	Cupuaçu	64	213	0,23	18,42	0,73	28,57	32,49	79,49
Musaceae	<i>Musa x paradisiaca</i> L.	Bananeira	37	123	0,23	18,42	0,13	16,52	5,77	40,71
Annonaceae	<i>Annona muricata</i> L.	Graviola	27	90	0,07	5,26	0,21	12,05	9,46	26,78
Palmae	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Açaí	12	40	0,13	10,53	0,21	5,36	9,61	25,50
Moraceae	<i>Cecropia palmata</i> Willd.	Embaúba	4	13	0,10	7,89	0,17	1,79	7,57	17,25
Myrtaceae	<i>Myrcia</i> sp.	Araça	2	7	0,03	2,63	0,01	0,89	0,76	4,28
Caryocaraceae	<i>Caryocar villosum</i> Aubl.	Pequiá	2	7	0,03	2,63	0,04	0,89	1,97	5,50
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L. N.	Cedro	1	3	0,03	2,63	0,00	0,45	0,12	3,19
Total			224	747	1,27	100	2,28	100	100	300

Onde: (Na) abundância absoluta (ind.); (N) abundância por ha (ind./ha); (Fa) frequência absoluta (ind./ha); (Fr) frequência relativa (%); (G) área basal (m²/ha); (Dr) densidade relativa (%); (Dor) dominância relativa (%) e (IVI) índice de valor de importância.

Nas Figuras 5.10 e 5.11 estão exemplificados áreas classificadas como SAF 1. Dentre essas áreas as maiores frequências foram das espécies: *Theobroma cacao* L. (31,58%), *Theobroma grandiflorum* Schum. e *Musa x paradisiaca* L. (18,42%) e o *Euterpe oleracea* Mart. (10,53%), obtendo IVI de 97,30; 79,49; 40,71 e 25,50 respectivamente, as quais conjuntamente representam 81,0% do valor total do IVI destas áreas.



Figura 5.10. Exemplo de área classificada como SAF 1.
Fonte: Bolfe, 2005.



Figura 5.11. Exemplo de área classificada como SAF 1.
Fonte: Bolfe, 2008.

Tabela 5.9. Parâmetros florísticos da classificação do SAF 2.

Família	Nome Científico	Nome Comum	Na	N	Fa	Fr	G	Dr	Dor	IVI
Sterculiaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	256	853	0,60	25,00	2,374	48,21	33,15	106,36
Palmae	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Açaí	98	327	0,73	30,56	1,993	18,46	27,84	76,85
Sterculiaceae	<i>Theobroma grandiflorum</i> Schum.	Cupuaçu	93	310	0,17	6,94	0,478	17,51	6,68	31,14
Leguminosae: papilionoideae	<i>Gliricidia</i> sp.	Glirecidia	32	107	0,10	4,17	0,602	6,03	8,41	18,60
Leguminosae: papilionoideae	<i>Derris</i> sp.	Derris	13	43	0,10	4,17	0,123	2,45	1,72	8,33
Rutaceae	<i>Citrus limonia</i> Osbeck	Limão	8	27	0,03	1,39	0,018	1,51	0,25	3,15
Verbenaceae	<i>Tectona grandis</i> Lf.	Teca	7	23	0,10	4,17	0,150	1,32	2,10	7,58
Lecythidaceae	<i>Bertholletia excelsa</i> H.B.K	Castanha do Pará	4	13	0,10	4,17	0,527	0,75	7,36	12,28
Leguminosae: mimosoideae	<i>Schizolobium amazonicum</i> Herb.	Paricá	3	10	0,10	4,17	0,365	0,56	5,10	9,83
Lauraceae	<i>Licaria puchury-major</i> (Mart.)	Pochori	3	10	0,07	2,78	0,048	0,56	0,67	4,01
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Abacate	2	7	0,03	1,39	0,077	0,38	1,07	2,83
Clusiaceae	<i>Garcinia mangostana</i> L.	Mangostão	2	7	0,03	1,39	0,009	0,38	0,13	1,89
Leguminosae: mimosoideae	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.)	Fava de orelha	2	7	0,03	1,39	0,108	0,38	1,51	3,27
Annonaceae	<i>Annona muricata</i> L.	Graviola	2	7	0,03	1,39	0,031	0,38	0,43	2,19
Moraceae	<i>Cecropia palmata</i> Willd.	Embaúba	2	7	0,03	1,39	0,102	0,38	1,43	3,19
Bignoniaceae	<i>Tabebuia pentaphylla</i> Hemsl.	Ipê rosa	1	3	0,03	1,39	0,022	0,19	0,31	1,89
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	Cajazeiro Tapereba	1	3	0,03	1,39	0,105	0,19	1,47	3,05
Sapindaceae	<i>Nephelium lappaceum</i> L.	Rambotã	1	3	0,03	1,39	0,008	0,19	0,11	1,69
Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Nim	1	3	0,03	1,39	0,024	0,19	0,33	1,91
Total			531	1770	2,40	100	7,16	100	100	300

Onde: (Na) abundância absoluta (ind.); (N) abundância por ha (ind./ha); (Fa) frequência absoluta (ind./ha); (Fr) frequência relativa (%); (G) área basal (m²/ha); (Dr) densidade relativa (%); (Dor) dominância relativa (%) e (IVI) índice de valor de importância.

Exemplos de áreas com SAF 2 são apresentados nas Figuras 5.12 e 5.13, sendo as maiores frequências observadas para o *Euterpe oleracea* Mart (30,56%) com IVI no valor de 76,85; *Theobroma cacao* L. (25,0%) com IVI de 106,36 e *Theobroma grandiflorum* Schum. (6,94%) com IVI de 31,14. Essas três espécies representam 71,45% do valor total do IVI das áreas classificadas como SAF 2.



Figura 5.12. Exemplo de área classificada como SAF 2.
Fonte: Bolfe, 2005.



Figura 5.13. Exemplo de área classificada como SAF 2.
Fonte: Bolfe, 2008.

Tabela 5.10. Parâmetros florísticos da classificação do SAF 3.

Família	Nome Científico	Nome Comum	Na	N	Fa	Fr	G	Dr	Dor	IVI
Palmae	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Açaí	169	563	0,47	15,93	4,27	32,69	21,01	69,62
Sterculiaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	161	537	0,90	30,72	3,49	31,14	17,16	79,01
Euphorbiaceae	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd...) Muell.-Arg.	Seringueira	96	320	0,53	18,20	8,88	18,57	43,62	80,39
Sterculiaceae	<i>Theobroma grandiflorum</i> Schum.	Cupuaçu	53	177	0,17	5,69	0,53	10,25	2,65	18,59
Meliaceae	<i>Kaya ivorensis</i> (A. Chev)	Mogno Africano	7	23	0,10	3,41	1,22	1,35	6,00	10,77
Moraceae	<i>Cecropia palmata</i> Willd.	Embaúba	6	20	0,17	5,69	0,43	1,16	2,12	8,97
Boraginaceae	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Freijó	6	20	0,10	3,41	0,76	1,16	3,76	8,34
Leguminosae: papilionoideae	<i>Clitoria racemosa</i> G. Don.	Palheteira	3	10	0,03	1,14	0,04	0,58	0,20	1,92
Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno	3	10	0,07	2,28	0,03	0,58	0,15	3,01
Flacourtiaceae	<i>Banara guianensis</i> Aubl.	Andorinha	2	7	0,03	1,14	0,15	0,39	0,74	2,26
Lecythidaceae	<i>Bertholletia excelsa</i> H.B.K	Castanha do Pará	2	7	0,07	2,28	0,08	0,39	0,42	3,08
Clusiaceae	<i>Platonia insignis</i> Mart.	Bacuri	2	7	0,07	2,28	0,00	0,39	0,03	2,69
Rubiaceae	<i>Borreria latifolia</i> Schum.	Rama verde	1	3	0,03	1,14	0,00	0,19	0,03	1,36
Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	1	3	0,03	1,14	0,01	0,19	0,10	1,43
Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	Pará pará	1	3	0,03	1,14	0,03	0,19	0,16	1,49
Não Identificada	<i>Não identificada</i>	xxx	1	3	0,03	1,14	0,03	0,19	0,19	1,52
Annonaceae	<i>Rollinia exsua</i> (DC. ex Dunal) A.DC.	Envira fofa	1	3	0,03	1,14	0,15	0,19	0,77	2,10
Leguminosae: mimosoideae	<i>Schizolobium amazonicum</i> Herb.	Paricá	1	3	0,03	1,14	0,07	0,19	0,36	1,69
Annonaceae	<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Envira cana	1	3	0,03	1,14	0,10	0,19	0,50	1,83
Total			517	1723	2,93	100	20,36	100	100	300

Onde: (Na) abundância absoluta (ind.); (N) abundância por ha (ind./ha); (Fa) frequência absoluta (ind./ha); (Fr) frequência relativa (%); (G) área basal (m²/ha); (Dr) densidade relativa (%); (Dor) dominância relativa (%) e (IVI) índice de valor de importância.

Nas áreas com SAF 3, ilustradas pelas Figuras 5.14 e 5.15, as maiores frequências observadas foram para as espécies: *Theobroma cacao* L. (30,72%), *Hevea brasiliensis* (Willd. ex. Adr. de Juss) Muell.-Arg. (18,20%) e *Euterpe oleracea* Mart. (15,93%), sendo o IVI calculado em 79,0; 80,39 e 69,62 respectivamente. Essas espécies representam conjuntamente 76,34% do valor total do IVI das áreas de SAF 3.



Figura 5.14. Exemplo de área classificada como SAF 3.
Fonte: Bolfe, 2005.



Figura 5.15. Exemplo de área classificada como SAF 3.
Fonte: Bolfe, 2008.

Tabela 5.11. Parâmetros florísticos da classificação do SAF 4.

Família	Nome Científico	Nome Comum	Na	N	Fa	Fr	G	Dr	Dor	IVI
Sterculiaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	179	597	0,70	22,36	6,21	40,96	17,10	80,43
Rutaceae	<i>Citrus limonia</i> Osbeck	Limão	62	207	0,10	3,19	0,31	14,19	0,86	18,24
Palmae	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Açaí	26	87	0,10	3,19	0,89	5,95	2,46	11,61
Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	25	83	0,20	6,39	7,06	5,72	19,44	31,55
Sterculiaceae	<i>Theobroma grandiflorum</i> Schum.	Cupuaçu	18	60	0,10	3,19	0,08	4,12	0,23	7,54
Euphorbiaceae	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd...) Muell.-Arg.	Seringueira	16	53	0,10	3,19	1,11	3,66	3,06	9,91
Verbenaceae	<i>Tectona grandis</i> Lf.	Teca	16	53	0,10	3,19	2,33	3,66	6,43	13,29
Clusiaceae	<i>Platonia insignis</i> Mart.	Bacuri	14	47	0,03	1,06	1,33	3,20	3,66	7,93
Lecythidaceae	<i>Bertholletia excelsa</i> H.B.K.	Castanha do Pará	9	30	0,13	4,26	3,54	2,06	9,76	16,08
Boraginaceae	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Freijó	8	27	0,13	4,26	1,93	1,83	5,32	11,41
Flacourtiaceae	<i>Banara guianensis</i> Aubl.	Andorinha	6	20	0,07	2,13	0,24	1,37	0,67	4,18
Leguminosae: papilionoideae	<i>Gliricidia</i> sp.	Glirecidia	6	20	0,07	2,13	0,05	1,37	0,14	3,65
Leguminosae: mimosoideae	<i>Schizolobium amazonicum</i> Herb.	Paricá	6	20	0,03	1,06	1,05	1,37	2,91	5,35
Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno	6	20	0,13	4,26	1,65	1,37	4,55	10,19
Moraceae	<i>Cecropia palmata</i> Willd.	Embaúba	4	13	0,13	4,26	0,54	0,92	1,51	6,68
Chrysobalanaceae	<i>Licania kunthiana</i> Hook. f.	Caripé	3	10	0,03	1,06	0,00	0,69	0,03	1,78
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich.	Puruí	2	7	0,07	2,13	0,00	0,46	0,01	2,60
Leguminosae: papilionoideae	<i>Clitoria racemosa</i> G. Don.	Palheteira	2	7	0,07	2,13	0,43	0,46	1,19	3,77
Leguminosae: papilionoideae	<i>Erythrina fusca</i> Lour.	Mulungu	2	7	0,07	2,13	3,08	0,46	8,48	11,07
Clusiaceae	<i>Garcinia mangostana</i> L.	Mangostão	2	7	0,07	2,13	0,02	0,46	0,06	2,65

Onde: (Na) abundância absoluta (ind.); (N) abundância por ha (ind./ha); (Fa) frequência absoluta (ind./ha); (Fr) frequência relativa (%); (G) área basal (m²/ha); (Dr) densidade relativa (%); (Dor) dominância relativa (%) e (IVI) índice de valor de importância.

Tabela 5.11. (Continuação).

Família	Nome Científico	Nome Comum	Na	N	Fa	Fr	G	Dr	Dor	IVI
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Abacate	2	7	0,03	1,06	1,34	0,46	3,69	5,22
Annonaceae	<i>Rollinia exsua</i> (DC. ex Dunal) ADC.	Envira fofa	2	7	0,03	1,06	0,28	0,46	0,78	2,30
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	Cajazeiro Tapereba	2	7	0,03	1,06	0,74	0,46	2,06	3,58
Leguminosae: mimosoideae	<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> (Willd.)	Paricazinho	2	7	0,07	2,13	0,68	0,46	1,87	4,46
Annonaceae	<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Envira cana	2	7	0,03	1,06	0,06	0,46	0,17	1,69
Moraceae	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	Tatajuba	1	3	0,03	1,06	0,08	0,23	0,23	1,52
Leguminosae: papilionoideae	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce	Sucupira Amarela	1	3	0,03	1,06	0,05	0,23	0,16	1,46
Caryocaraceae	<i>Caryocar villosum</i> Aubl.	Pequiá	1	3	0,03	1,06	0,24	0,23	0,66	1,95
Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i> L.	Café	1	3	0,03	1,06	0,00	0,23	0,02	1,32
Leguminosae: fabaceae	<i>Erythrina</i> sp.	Eretrina	1	3	0,03	1,06	0,37	0,23	1,03	2,33
Leguminosae: mimosoideae	<i>Inga alba</i> Willd.	Ingá cordão	1	3	0,03	1,06	0,05	0,23	0,15	1,45
Lacistemaceae	<i>Lacistema pubescens</i> Mart.	Cafezinho	1	3	0,03	1,06	0,00	0,23	0,01	1,31
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Manga	1	3	0,03	1,06	0,23	0,23	0,64	1,93
Moraceae	<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke)	Muiratinga	1	3	0,03	1,06	0,02	0,23	0,07	1,37
Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp.	Papa terra	1	3	0,03	1,06	0,02	0,23	0,08	1,37
Araliaceae	<i>Schefflera morototoni</i> Aubl.	Morototó	1	3	0,03	1,06	0,03	0,23	0,09	1,39
Bignoniaceae	<i>Tabebuia alba</i> (Cham.)	Ipê branco	1	3	0,03	1,06	0,00	0,23	0,01	1,30
Bignoniaceae	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) Nichols	Ipê amarelo	1	3	0,03	1,06	0,04	0,23	0,12	1,41
Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Tapiriri	1	3	0,03	1,06	0,08	0,23	0,22	1,51
Myristicaceae	<i>Virola surinamensis</i> (Rol. ex Rottb.)	Virola	1	3	0,03	1,06	0,01	0,23	0,04	1,33
Total			437	1457	3,13	100	36,34	100	100	300

Onde: (Na) abundância absoluta (ind.); (N) abundância por ha (ind./ha); (Fa) frequência absoluta (ind./ha); (Fr) frequência relativa (%); (G) área basal (m²/ha); (Dr) densidade relativa (%); (Dor) dominância relativa (%) e (IVI) índice de valor de importância.

Nas Figuras 5.16 e 5.17 estão exemplificadas áreas de SAF 4, onde as maiores frequências observadas foram de: 22,36% para o *Theobroma cacao* L. (IVI de 80,43), 6,39% para a *Carapa guianensis* Aubl. (IVI de 31,55) e 4,26% para *Bertholletia excelsa* H.B.K (IVI de 16,08), *Cordia goeldiana* Huber (IVI de 11,41), *Swietenia macrophylla* King (IVI de 10,19) e *Cecropia palmata* Willd (IVI de 6,68). Essas espécies representam 52,11% do valor total do IVI das áreas classificadas como SAF 4.

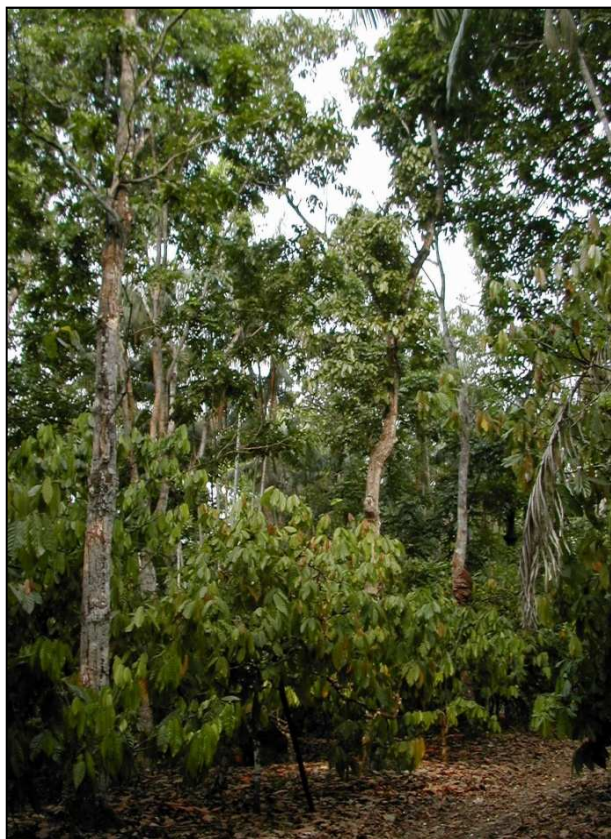


Figura 5.16. Exemplo de área classificada como SAF 4.
Fonte: Bolfe, 2005.



Figura 5.17. Exemplo de área classificada como SAF 4.
Fonte: Bolfe, 2008.

A partir do grande número de espécies observadas nos diferentes SAF em estudo (Tabelas 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11) definiu-se estimar a diversidade florística dessas áreas visando uma análise melhor quanto à composição das agroflorestas estudadas por meio de índices diferentes.

Os índices de diversidade de Simpson, Shannon-Wiener e a Equabilidade de Pielou média para os SAF analisados foram de 0,24, 1,81 e 0,62 respectivamente (Tabela 5.12). O SAF 4 apresentou a maior diversidade de espécies expressos pelo menor S' (0,20) e maior H' (2,35). Já o SAF 1 apresentou a maior uniformidade de indivíduos entre as espécies registradas, verificado pelo elevado J' (0,73). O índice de Simpson mostrou-se pouco influenciado pela riqueza (0,23 para o SAF 1 com 9 ssp. e 0,20 para SAF 4 com 54 ssp.), pesando mais a densidade das espécies com maior abundância, caracterizando-se como pouco sensível às espécies que apareceram com apenas um indivíduo na amostra. Ao comparar os valores observados nos SAF em estudo com as médias obtidas por Santos et al. (2004) em agroflorestas de várzea do Rio Juba, Pará ($H' = 1,37$) e ($J = 0,44$), e com as obtidas no Vale do Rio Acre ($H' = 0,68$) e ($J = 0,65$) por Rodrigues e Silveira (2006), verifica-se diversidade superior nos SAF da região de Tomé-Açu.

Tabela 5.12. Índices de diversidade e equabilidade dos quatro sistemas agroflorestais propostos para Tomé-Açu, PA.

Índice	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	Média
Simpson (S')	0,23	0,30	0,24	0,20	0,24
Shannon-Weaver (H')	1,61	1,60	1,66	2,35	1,81
Pielou (J')	0,73	0,54	0,56	0,64	0,62

A grande diversidade observada nas áreas de estudo, principalmente no SAF 4 (implantados na década 80 e 90) está intimamente ligada a dois fatores. O primeiro relacionado com o declínio do ciclo da pimenta-do-reino e à própria implantação dos SAF pelos agricultores nipo-brasileiros, os quais implantaram diversas espécies frutíferas de interesse econômico em diferentes arranjos produtivos. Homma (2004) destaca que a partir da década de 90 um fato novo passa a despontar, é o avanço da fruticultura face à visibilidade das frutas amazônicas no contexto nacional e internacional, proporcionada pela questão ambiental. Outro fator, verificado neste estudo, está vinculado ao banco genético existente nos remanescentes florestais do entorno

das áreas conduzidas com SAF, fato evidenciado pela observação de diversas espécies nativas (não implantadas) de baixa abundância, frequência e dominância relativa no interior do SAF 4 como tatajuba, sucupira amarela, ipês, tapiriri e virola (Tabela 5.11).

Na Tabela 5.13 é apresentada a matriz de similaridade florística qualitativa obtida entre os quatro sistemas agroflorestais (SAF 1, SAF 2, SAF 3 SAF 4) utilizando o Índice de Sørensen (IS_s) em matriz binária de 54 espécies encontradas nos SAF estudados. A maior similaridade ocorreu entre o SAF 3 e o SAF 4 (0,51) e a menor entre o SAF 1 e o SAF 4 (0,20). Dos seis pares de SAF analisados, cinco (83,3%) apresentaram baixa similaridade ($IS_s < 0,50$). A similaridade média entre os SAF foi de 34% sendo superior a similaridade média de 25% encontrada por Rodrigues e Silveira (2006) e inferior ao observado por Santos et al. (2004), que foi de 48,1%.

Tabela 5.13. Matriz de similaridade florística entre os 4 SAF (Índice de Sørensen, IS_s).

Sistemas Agroflorestais	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4
SAF 1	-			
SAF 2	0,35	-		
SAF 3	0,28	0,31	-	
SAF 4	0,20	0,40	0,51	-

A matriz binária baseada no índice de similaridade de Sorensen elaborada a partir dos levantamentos florísticos demonstrou que a composição e os arranjos dos plantios na região de Tomé-Açu são bastante distintos entre si. Essa distinção de estrutura da vegetação também é evidenciada pelas diferenças encontradas nos índices de diversidade, equabilidade e nos valores de densidade e dominância utilizados neste estudo. Estudos de Smith et al. (1998) e Wandelli e Souza (2000) também relatam a existência de uma grande diversidade de consórcios praticados por agricultores familiares na região amazônica. Rodrigues e Silveira (2006) destacam que a finalidade dada à produção foi um dos principais fatores levados em consideração pelos produtores no planejamento de seus sistemas agroflorestais, sendo que os SAF cuja produção é voltada exclusivamente para o mercado possuem baixa diversidade e equabilidade, enquanto os SAF voltados para o consumo das famílias, ou com propósito duplo, consumo e comercialização, apresentam maior diversidade e equabilidade, e menores índices de dominância.

5.1.3. Estimativa da biomassa epígea e carbono por meio de equações alométricas

Considerando os dados obtidos pelas análises estruturais e florística dos SAF, conforme apresentado na tabela 5.14 (três espécies (*Theobroma cacao* L, *Euterpe oleracea* Mart. e *Theobroma grandiflorum* Schum.) representaram conjuntamente 51% da frequência relativa (Figura 5.18), 69,2% da densidade relativa (Figura 5.19), 51,1% da dominância relativa (Figura 5.20) e 56,8% do valor total do IVI das 54 espécies observadas nos SAF de Tomé-Açu (Figura 5.21)); definiu-se utilizar as equações alométricas diferenciadas por espécies e classes de diâmetros, conforme tabela 5.15, para estimar a biomassa epígea seca.

Tabela 5.14. Parâmetros florísticos e estruturais das três principais espécies encontradas em todos os SAF.

Espécie	Fr	Dr	Dor	IVI
<i>Theobroma cacao</i> L.	27,4	38,4	24,9	90,8
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	15,1	15,6	14,7	45,4
<i>Theobroma grandiflorum</i> Schum.	8,6	15,1	10,5	34,2
Demais espécies (51)	49,0	30,8	49,9	129,6
Total	100,0	100,0	100,0	300,0

Onde: (Fr) frequência relativa; (Dr) densidade relativa; (Dor) dominância e (IVI) índice de valor de importância.

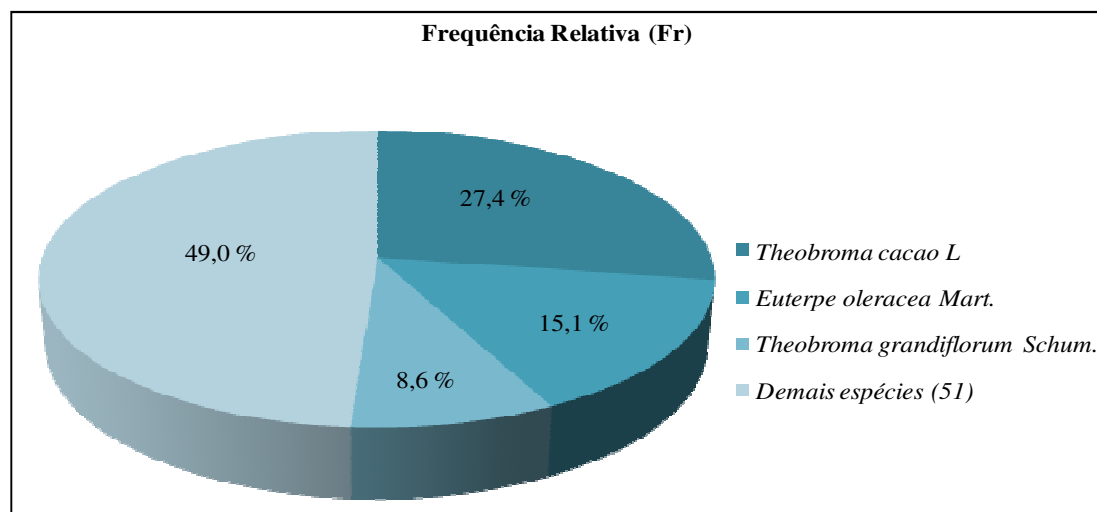


Figura 5.18. Frequência relativa média de três espécies encontradas em todos os SAF.

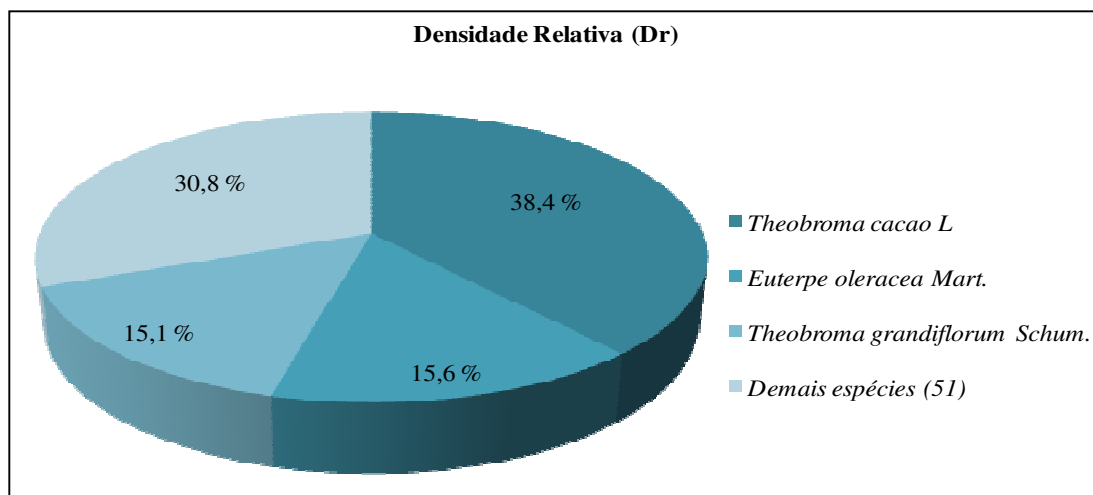


Figura 5.19. Densidade relativa média de três espécies encontradas em todos os SAF.

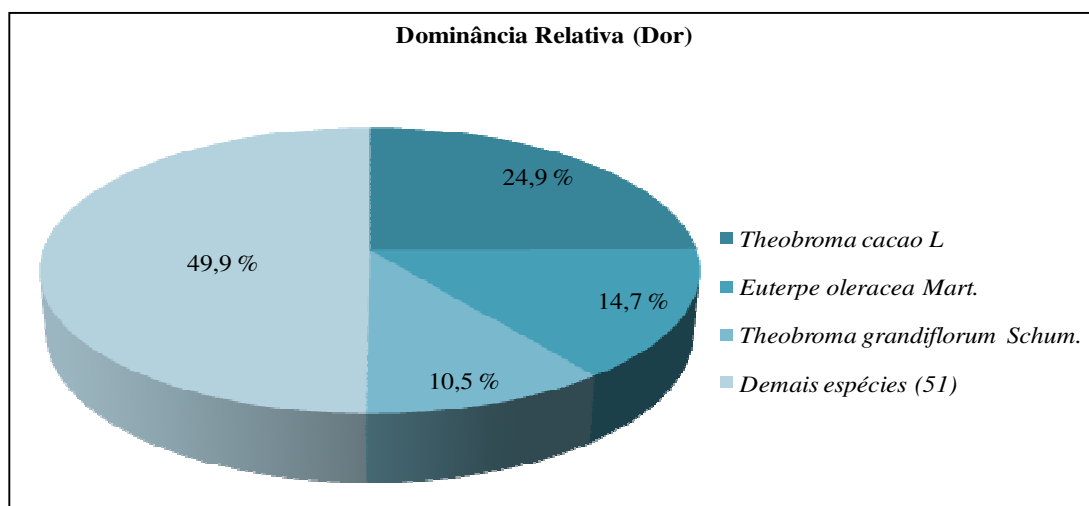


Figura 5.20. Dominância relativa média de três espécies encontradas em todos os SAF.

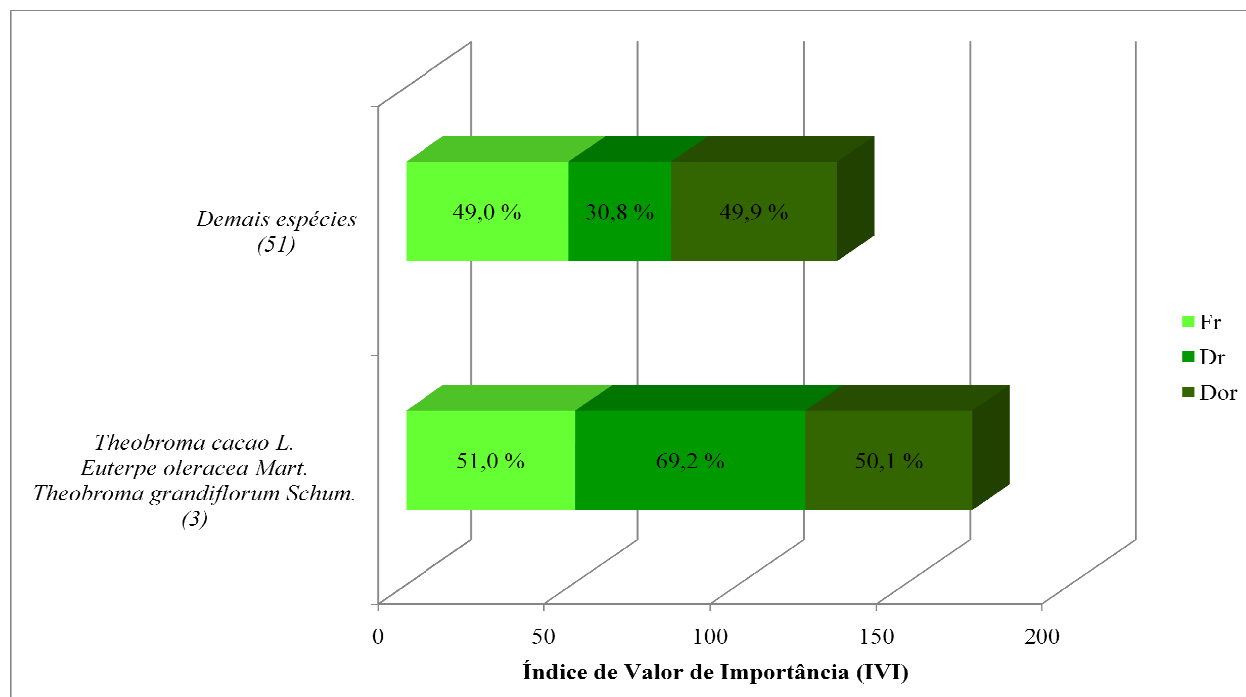


Figura 5.21. Índice de valor de importância das três espécies encontradas em todos os SAF.

Tabela 5.15. Equações alométricas utilizadas para estimar a biomassa epígea seca.

Espécie	Equação	R ²	Nível Amostral	Fonte	Local
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	$BE1 = \text{Exp}(-0,0550 + 0,0451 * DAP)$ (folhas do açazeiro)	0,92	DAP > 5cm	Bartelt et al. (2000)	Cametá (PA)
	$BE2 = \text{Exp}(-0,0470 + 0,0750 * DAP)$ (estipes do açazeiro)	0,99			
<i>Theobroma cacao</i> L. <i>Theobroma grandiflorum</i> Schum.	$BE3 = \text{Exp}(-1,3200 + 0,0566 * DAP)$ (folhas do cacaueio e cupuazeiro)	0,96	DAP > 5cm	Bartelt et al. (2000)	Cametá (PA)
	$BE4 = \text{Exp}(0,0320 + 0,0810 * DAP)$ (madeira do cacaueio e cupuazeiro)	0,99			
Demais espécies	$BE5 = 0,0336 * DAP^{2,171} * H^{1,038} * 0,6$	0,94	DAP < 20cm	Higuchi et al. (1998)	Tomé-Açu (PA)
	$BE6 = 0,0009 * DAP^{1,585} * H^{2,651} * 0,6$	0,92	DAP ≥ 20cm		

Onde: *BE* é a biomassa seca epígea em Mg.ha⁻¹; *Exp* é o logaritmo natural; *DAP* é o diâmetro a altura do peito (cm) e *H* é a altura total (m).

Utilizou-se seis modelos alométricos desenvolvidos para a região amazônica, com o objetivo de estimar a biomassa epígea seca individual da vegetação (kg/ind.). As equações BE1, BE2, BE3 e BE4 desenvolvidas por Bartelt et al. (2000) em áreas agroflorestais da região de Cametá (PA), foram utilizadas para estimar a biomassa epígea de *Euterpe oleracea* Mart., *Theobroma cacao* L e *Theobroma grandiflorum* Schum. cujos DAP são superiores a 5cm. Já as equações BE5 e BE6, desenvolvidas e testadas por Higuchi et al. (1998) para a região de Tomé-Açu, foram utilizadas para estimar a biomassa epígea das demais espécies em duas classes de diâmetro distintas, ou seja, indivíduos com DAP inferior a 20cm e indivíduos com DAP igual ou superior a 20cm. Destaca-se que as equações B3 e B4 foram desenvolvidas para *Theobroma cacao* e aplicadas neste estudo para o *Theobroma grandiflorum* Schum. em função dos indivíduos serem do mesmo gênero e de semelhança estrutural elevada. A equação 5.1 foi utilizada para estimar a biomassa epígea seca (EBE) em Mg.ha⁻¹ para cada unidade amostral.

$$EBE = \frac{(\sum_{i=1}^u (BE1+BE2) + \sum_{j=1}^t (BE3+BE4) + \sum_{k=1}^m (BE5) + \sum_{k=1}^s (BE6))}{AP + (\sum_{p=1}^n BE5) \div ASP} \quad (5.1)$$

Onde u é o número total de indivíduos de *Euterpe oleracea* Mart. com DAP superior a 5cm existente em uma parcela; t é o número total de indivíduos de *Theobroma cacao* L. e *Theobroma grandiflorum* Schum. com DAP superior a 5cm existente em uma parcela; m é o número total de indivíduos com DAP inferior a 20cm existente em uma parcela; s é o número total de indivíduos com DAP igual ou superior a 20cm existente em uma parcela; n é o número total de indivíduos com DAP entre 2,5 e 10cm existentes em uma sub-parcela da área; AP e ASP são, respectivamente, a área total (ha) da parcela e da sub-parcela.

Para estimar o estoque de carbono (EC) (MgC.ha⁻¹) contido na EBE para os diferentes sistemas classificados, multiplicou-se a EBE pelo fator 0,45 (Equação 5.2). Este índice foi utilizado em função que a biomassa epígea seca acima do solo contém aproximadamente 45% de carbono (Higuchi et al., 1998; Thibau, 2000; Santos, 2004; Silva, 2007; IPCC, 2007).

$$EC = EBE * 0,45 \quad (5.2)$$

Onde EBE é a estimativa da biomassa epígea e 0,45 o fator de conversão para carbono.

Assim, foi estimada a biomassa epígea e o carbono por ha de vegetação para cada unidade amostral e média por parcela amostral de SAF (Anexo 1).

A estimativa de biomassa epígea seca e de carbono para as classes de SAF (Tabela 5.16) é representada na figura 5.22. A média de EBE foi 106,51Mg.ha⁻¹ e de C foi de 47,93MgC.ha⁻¹, onde o SAF 4 apresentou o maior estoque de biomassa e carbono, 268,75Mg.ha⁻¹ e 120,94MgC.ha⁻¹, respectivamente. Destaca-se a grande variação observada na estimativa da EBE nos SAF 1 (CV = 87,25%), fato relacionado à fase inicial dos sistemas estudados, onde se encontram áreas com valores de EBE inferiores a 1Mg.ha⁻¹ (23_2008 com 1 ano de implantação) e áreas com valores superiores a 30Mg.ha⁻¹ (15_2005 com dois anos de implantação).

Tabela 5.16. Dados estimados para quatro sistemas agroflorestais propostos para Tomé-Açu, PA.

Parâmetro (Mg.ha ⁻¹)		Classificações Agroflorestais Propostas				
		SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	MS
EBE	(Mín.)	0,82	13,54	51,86	94,51	-
	(Máx.)	34,25	68,78	138,21	480,05	-
	(s)	11,89	17,39	25,73	124,10	-
	(CV)	87,25	34,58	27,56	46,18	-
	(Méd.)	13,63	50,30	93,36	268,75	106,51
EC	(Méd.)	6,13	22,63	42,01	120,94	47,93
Idade	(Méd.)	2,40	5,80	13,00	24,40	11,40

Onde: (EBE) é a biomassa epígea, (EC) o estoque de carbono e (MS) a média dos SAF's.



Figura 5.22. Estoque de carbono para as classes agroflorestais, Tomé-Açu, PA.

Ao analisar os dados de biomassa epígea (Tabela 5.16) dos sistemas agroflorestais propostos (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF4), observa-se valores crescentes em função da elevação dos parâmetros estruturais (Tabela 5.5) e em relação à complexidade dos sistemas avaliados, obtida em função do número de espécies encontradas. Assim, observa-se na figura 5.23 a EBE variando de 13,63Mg.ha⁻¹ para os sistemas classificados como SAF 1 (nove espécies observadas) a 268,75Mg.ha⁻¹ para o SAF 4 (quarenta espécies observadas).

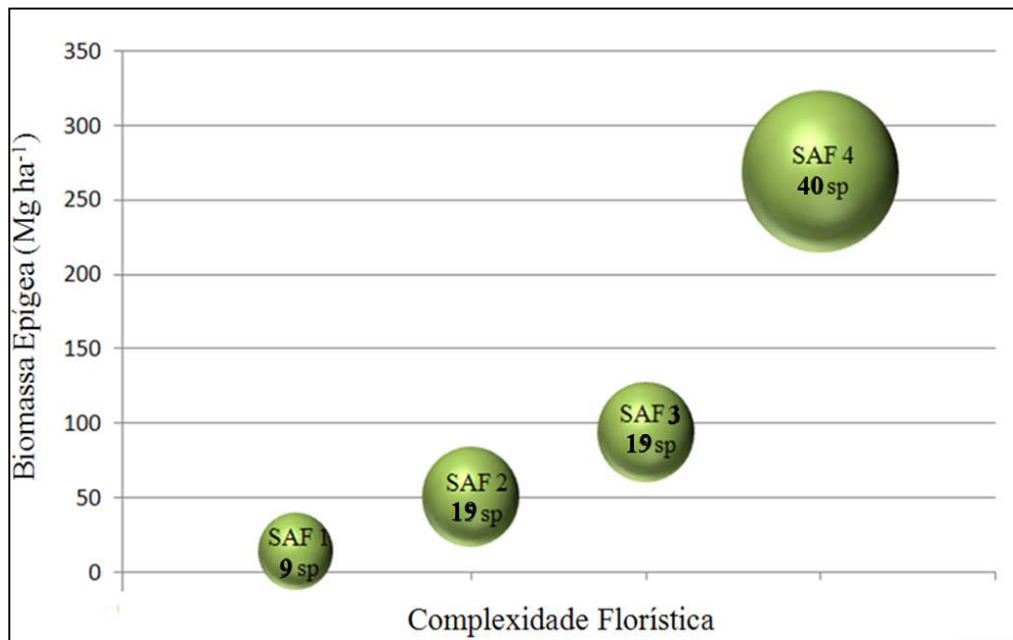


Figura 5.23. Relação entre a complexidade (n. de sp.) e a EBE para os quatro SAF's, Tomé-Açu, PA.

Os valores de EC (47,93MgC.ha⁻¹) observados nos SAF estudados (idade de 1 a 34 anos) estão dentro das médias estimadas por Montagnini e Nair (2004), os quais relatam que o estoque médio do carbono observado na vegetação dos SAF na região amazônica é de 50MgC.ha⁻¹ (Tabela 5.17).

Por outro lado, considerando a média das áreas de SAF 3 e SAF 4 (SAF adulto com média de 18 anos) observou-se valores de 81,48MgC.ha⁻¹. Este valor é 16% superior aos valores estimados por Mutuo et al. (2005) para a região amazônica (70MgC.ha⁻¹) e 15% inferior ao encontrado por Albrecht e Kandji (2003), que realizaram um completo estudo sobre o sequestro de carbono em sistemas agroflorestais tropicais, relatando em suas pesquisas que o potencial de sequestro de

carbono pela vegetação de SAF para a América do Sul é estimado entre 39 a 102MgC.ha⁻¹, e a média para a região tropical é de 95MgC.ha⁻¹.

Da mesma forma, o valor observado em Tomé-Açu (PA) é 40% inferior quando comparado com o valor médio (134MgC.ha⁻¹) encontrado por Santos et al. (2004) nos sistemas agroflorestais na região de Cametá (PA), possivelmente fato relacionado ao tempo de implantação mais recente dos SAF's analisados neste estudo.

Tabela 5.17. Comparativo de médias de biomassa epígea (EBE) e estoque de carbono (EC) dos SAF's estudados com outros SAF's na região amazônica.

Tipo	EBE Mg.ha⁻¹	EC Mg.ha⁻¹	Amostragem (cm)	Fonte	Local
SAF	175	81	DAP ≥ 2,5	Este Estudo	Tomé-Açu, PA
SAF	155	70	DAP ≥ 5	Mutuo et al. (2005)	Amazônia
SAF	298	134	DAP ≥ 5	Santos et al. (2004)	Cametá, PA
SAF	110	50	DAP ≥ 5	Montagnini e Nair (2004)	Amazônia
SAF	210	95	DAP ≥ 5	Albrecht e Kandji (2003)	Amazônia

Segundo Caldeira et al. (2001), o acúmulo de biomassa num povoamento florestal ou agroflorestal é afetado por fatores ambientais, bem como por fatores inerentes à natureza da própria planta. Além dos fatores ambientais, fatores florísticos influenciam nos valores acumulados de biomassa e carbono. As médias inferiores de EC deste estudo em relação aos SAF da região de Cametá, PA, por exemplo, podem estar relacionadas ao elevado IVI dos cacaueiros, cupuaçuzeiros e açaizeiros nestes SAF (167,22% do valor total do IVI das 19 espécies observadas no SAF 3 e 99,8% do valor total do IVI das 40 espécies observadas no SAF 3). Estas espécies, naturalmente, não são de porte menor quando comparadas às outras como seringueira, embaúba, castanheira, mogno e andiroba, as quais possuem valores menores de IVI neste estudo.

Higuchi e Carvalho (1994) citam que a ocorrência de árvores de grande porte, mesmo em número reduzido, numa amostra pode superestimar a biomassa. Esse fato pode ser constatado quando compara-se o SAF 4, o qual apresentou as maiores médias de DAP e H (Tabela 5.5) com 1457 indiv./ha e a maior estimativa de EC (120,94MgC.ha⁻¹) com o SAF 3, que mesmo com a maior abundância (1723 indiv./ha) apresentou menor estimativa de EC (42,01MgC.ha⁻¹) (Figura 5.24).

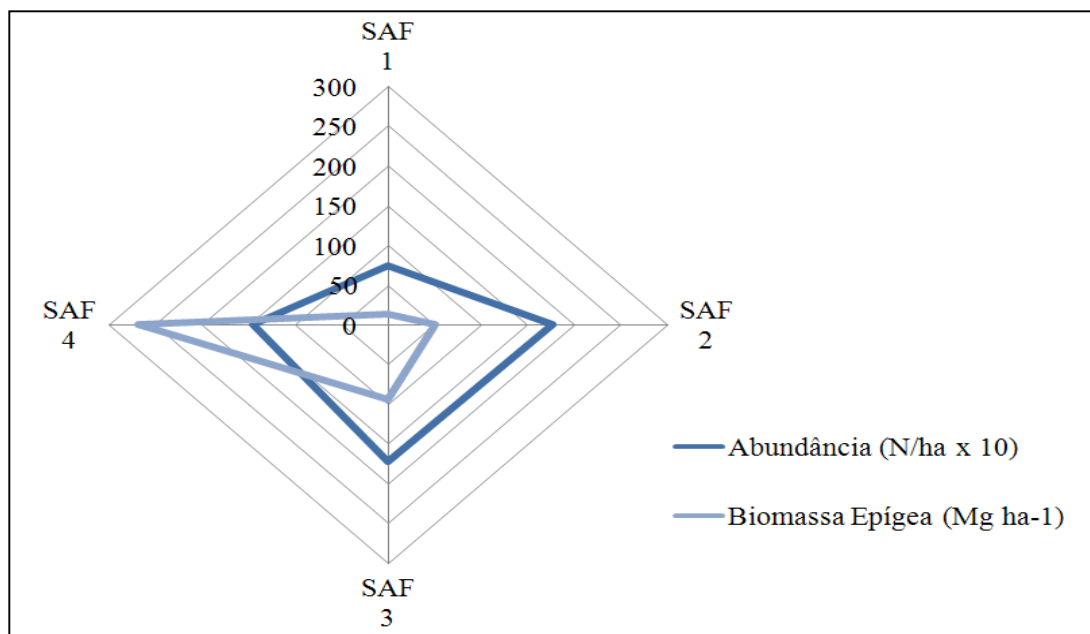


Figura 5.24. Relação entre Abundância (N) e a Biomassa Epígea (EBE) nos SAF's estudados.

Comparando o EC médio dos SAF estudados em Tomé-Açu (idade média de 18 anos) em relação a outras tipologias florestais, observa-se que esta foi 67% superior à média encontrada nas florestas de várzea de Paragominas (Keller et al., 2004) e 44, 71 e 221% superiores a florestas secundárias estudadas em Machadinho d'Oeste (RO) (Batistella, 2001), Igarapé-Açu (PA) (Brienza Jr., 1999) e Manaus (Lima et al., 2007) respectivamente (Tabela 5.19). Possivelmente, estes valores são função da elevada intervenção antrópica de longa data nessas áreas, pois estas são inferiores às médias encontradas em demais florestas de várzea da região (Klinge et al., 1995; Tsuchiya e Hiraoka, 1999, Stadtler, 2007) e de florestas secundárias enriquecidas (Pereira, 2001).

O EC médio (81MgC.ha^{-1}) observado em Tomé-Açu representa cerca de 52% do carbono que é estocado em média nas florestas primárias de terra firme (152MgC.ha^{-1}), 89% do carbono médio estocado em florestas de várzeas (91MgC.ha^{-1}) e 48% a mais do carbono existente na biomassa epígea estocada em florestas secundárias (55MgC.ha^{-1}) enriquecidas com espécies leguminosas ou não (idade variando 5 a 20 anos) na Amazônia brasileira (Tabela 5.18). Ao analisar o estoque de carbono estimado para os SAF em Tomé-Açu, observa-se que este representa 36% do citado por Dixon (1995) para sistemas antrópicos (228MgC.ha^{-1}), incluído o retido no solo. Quando analisa-se o potencial de sequestro de carbono pela vegetação desses SAF, destaca-se o valor de EC encontrado no SAF 4 ($120,94\text{MgC.ha}^{-1}$), o qual representa 80% da média do carbono estocado na florestas primárias de terra firme analisadas (152MgC.ha^{-1}); 33% e 121% superior à média do que é estocado de carbono nas

florestas de várzeas (91MgC.ha^{-1}) e nas florestas secundárias analisadas (55MgC.ha^{-1}), respectivamente. Ao comparar o EC do SAF 4 com o estudo de Dixon (1995), este representa 53% do carbono observado para sistemas antrópicos, incluído o retido no solo, constituindo-se assim, em alternativa importante para fixar e acumular carbono, juntamente com as florestas secundárias enriquecidas, florestas de várzea ou de florestas de terra firme na Amazônia brasileira.

Tabela 5.18. Comparativo de médias de biomassa epígea (EBE) e estoque de carbono (EC) dos SAF's estudados com outras tipologias florestais na Amazônia brasileira.

Tipo	EBE Mg.ha⁻¹	EC* Mg.ha⁻¹	Amostragem (cm)	Fonte	Local
SAF	175	81	DAP $\geq 2,5$	Este Estudo	Tomé-Açu, PA
SAF	298	134	DAP ≥ 5	Santos et al. (2004)	Cametá, PA
SAF	126	57	DAP ≥ 5	Montagnini e Nair (2004)	Amazônia
SAF	210	95	DAP ≥ 5	Albrecht e Kandji (2003)	Amazônia
FS	56	25	DAP ≥ 5	Lima et al. (2007)	Manaus, AM
FS	125	56	DAP $\geq 2,5$	Batistella (2001)	Machadinho d'Oeste, RO
FS	199	90	DAP ≥ 5	Pereira (2001)	Paragominas, PA
FS	106	48	DAP ≥ 5	Brienza Jr. (1999)	Igarapé-Açu, PA
FV	213	96	DAP ≥ 10	Stadtler (2007)	Barcelos, AM
FV	108	49	DAP ≥ 10	Keller et al. (2004)	Paragominas, PA
FV	307	138	DAP ≥ 5	Tsuchiya e Hiraoka (1999)	Abaetetuba, PA
FV	178	80	DAP ≥ 5	Klinge et al. (1995)	Amazônia
FTF	466	210	DAP ≥ 1	Silva (2007)	Manaus, AM
FTF	269	121	DAP $\geq 2,5$	Batistella (2001)	Machadinho d'Oeste, RO
FTF	289	130	DAP ≥ 5	Tsuchiya e Hiraoka (1999)	Abaetetuba, PA
FTF	327	147	DAP ≥ 5	Fearnside (1994)	Amazônia

Onde: (EC*) valores de estoque de carbono estimados em 45% da biomassa epígea, (SAF) sistemas agroflorestais, (EBE) biomassa epígea, (FS) florestas secundárias, (FV) florestas de várzeas e (FTF) florestas de terra firme.

Ao comparar o estoque médio de carbono (86MgC.ha^{-1}) existente na biomassa epígea obtida nos diferentes SAF da região amazônica (Tabela 5.18 e Figura 5.25) com outras médias de formações vegetais dessa região (floresta secundária, floresta de várzea e floresta de terra firme), observa-se que a média dos sistemas agroflorestais é 57% superior à média das florestas secundárias analisadas (55MgC.ha^{-1}), representando ainda 95% do carbono estocado nas florestas de várzea (91MgC.ha^{-1}) e 57% do carbono estocado nas florestas de terra firme analisadas (152MgC.ha^{-1}).

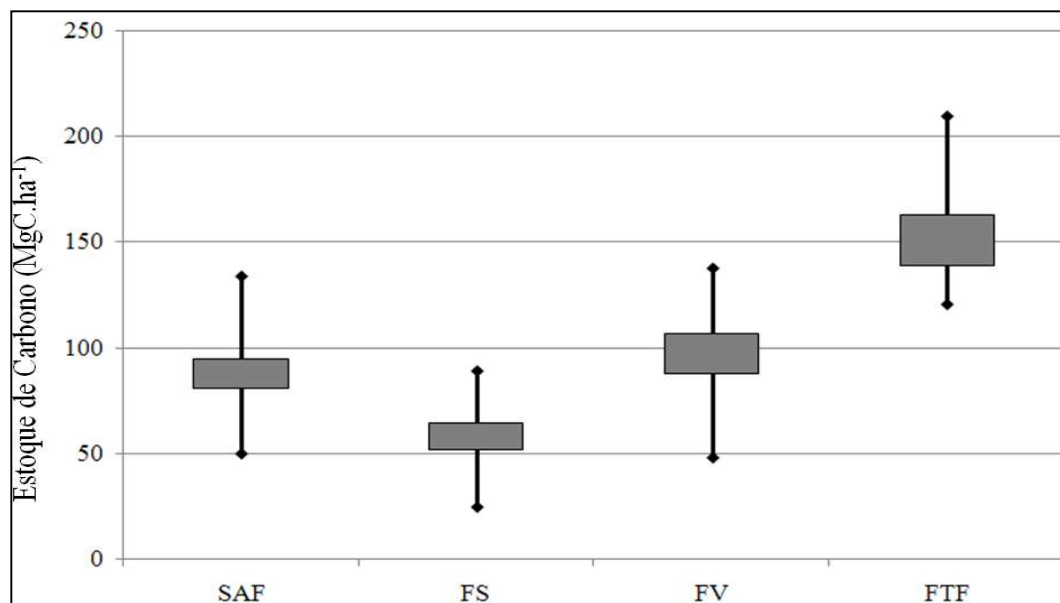


Figura 5.25. Valores estimados de estoque de carbono (EC) para sistemas agroflorestais (SAF), florestas secundárias (FS), florestas de terra firme (FTF) e florestas de várzeas (FV) na Amazônia brasileira.

Nesse contexto, os SAF's são admitidos frequentemente como uma das formas mais adequadas de desenvolvimento dos trópicos úmidos. Junto com o manejo de florestas secundárias (capoeiras) e os reflorestamentos surgem como alternativas viáveis do ponto de vista ambiental e econômico, capazes de contribuir na absorção de CO₂ e reduzir o efeito de estufa (Smith et al., 1998). Segundo Osterroht (2002), entre os diversos sistemas agropecuários de uso da terra, os SAF são aqueles que acumulam o maior ativo de biomassa. A adoção de sistemas agroflorestais por agricultores familiares são uma estratégia viável e relevante para elevar os estoques de carbono em seus sistemas de produção (Roshetko et al. 2005).

Em uma análise mais ampla, além de importantes acumuladores de carbono e mitigadores de processos de aquecimento global, pode-se facilmente relacionar a biomassa observada nos SAF da região de Tomé-Açu com a capacidade de produção de alimentos e fibras proporcionada por estes sistemas, podendo ser inserido dentro da perspectiva de “carbono social”. Yamada e Gholz (2002) já destacavam que os sistemas agroflorestais verificados em Tomé-Açu são uma possível resposta sustentável ao crescente processo de conversão de florestas em pastagens na Amazônia. Ressalta ainda que além da elevada geração de empregos na região, a renda obtida pelos agricultores nipo-brasileiros em suas áreas, que variam de 10 a 20ha, é comparável à renda de fazendeiros que utilizam de 400 a 1.200ha de terra como pastagem, proporcionando a manutenção da população no meio rural e a conservação de remanescentes florestais na Amazônia brasileira.

5.2.Cálculo das Variáveis Espectrais nos SAF da Área de Estudo

5.2.1. Cálculo dos Índices de Vegetação

Posteriormente à retificação geométrica e à correção radiométrica, foram geradas imagens transformadas radiometricamente por meio de diferentes índices de vegetação, subdivididos em três grupos: a) Razão Simples, b) Normalizados e c) Complexos (Tabela 5.19).

Tabela 5.19. Índices de vegetação utilizados na obtenção das variáveis espectrais dos SAF estudados.

Tipo de Índice	Índice	Equação
Razão Simples	RVI	(ρ_V / ρ_{IVP})
	RS 3:4	(ρ_{IVP} / ρ_V)
	RS 5:3	(ρ_{IVM} / ρ_V)
	RS 5:4	$(\rho_{IVM} / \rho_{IVP})$
Normalizados	NDVI 3:4	$(\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)$
	ND 5:3	$(\rho_{IVM} - \rho_V) / (\rho_{IVM} + \rho_V)$
	ND 5:4	$(\rho_{IVM} - \rho_{IVP}) / (\rho_{IVM} + \rho_{IVP})$
	ND 5:7	$(\rho_{IVM} - \rho_{IVD}) / (\rho_{IVM} + \rho_{IVD})$
	TVI	$\sqrt{((\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)) + 0,5}$
	CTVI	$\frac{((\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)) + 0,5}{ ((\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)) + 0,5 \times \sqrt{ ((\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)) + 0,5 }}$
	TTVI	$\sqrt{ ((\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)) + 0,5 }$
	NRVI	$((\rho_{VP} / \rho_V) - 1) / ((\rho_{IVP} / \rho_V) + 1)$
Complexos (ortogonais ou perpendiculares)	PVI	$\sqrt{(R_{gg5} - R_{p5})^2 + (R_{gg7} - R_{p7})^2}$
	PVI 1	$(b\rho_{IVP} - \rho_V + a) / \sqrt{b^2 + 1}$
	PVI 2	$[(\rho_{IVP} - a) * (\rho_V + b)] / (\sqrt{1 + a^2})$
	PVI 3	$(a\rho_{IVP} - b\rho_V)$
	SAVI	$[(\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)] \times (1 + L)$
	TSAVI 1	$a(\rho_{IVP} - a * \rho_V - b) / (\rho_V + a * \rho_{IVP} - a * b)$
	TSAVI 2	$a(\rho_{IVP} - a * \rho_V - b) / [\rho_V + a * \rho_{IVP} - a * b + 0,8(1 + a^2)]$
	MSAVI 2	$[(2\rho_{IVP} + 1) - \sqrt{(2\rho_{IVP} + 1)^2 - 8(\rho_{IVP} - \rho_V)}] / 2$
	DVI	$a(\rho_{IVP} - \rho_V)$
	WDVI	$(\rho_{IVP} - c * \rho_V)$

Onde: ρ_V = refletância na faixa do vermelho; ρ_{IVP} = refletância na faixa do infravermelho próximo; ρ_{IVM} = refletância na faixa do infravermelho médio; ρ_{IVD} = refletância na faixa do infravermelho distante; L = fator de ajuste do solo ($a=0,251$; $b=0,50$ e $c=1$); a, c e b são, são os respectivamente, a declividade (coeficiente angular) e o intercepto da linha do solo.

Os índices de razão simples e normalizados baseiam-se no contraste entre a resposta da vegetação na faixa do vermelho e infravermelho próximos, médio e distante. Já os índices complexos, baseiam-se no padrão de respostas na faixa do vermelho e do infravermelho próximo e utilizam o conceito de linha do solo, com o objetivo de calcular a distância entre a linha do solo e a vegetação. Para a obtenção dos valores da linha do solo (intercepto e coeficiente angular), os valores de refletância das faixas do vermelho e do infravermelho próximo para a imagem de estudo foram projetados em gráfico bidimensional, produzindo um padrão conhecido como *tasseled cap* (Kauth e Thomas, 1976). Primeiramente obtiveram-se pontos que representam as respostas espectrais de diferentes tipos e condições de solo exposto observados na área de estudo para a imagem Landsat TM/2005 (Figura 5.26), ou seja, onde não há ocorrência de vegetação, conforme Thiam e Eastman (2006).



Figura 5.26. Pontos obtidos para cálculo da “linha do solo” (Imagem TM/Landsat - 09/08/2005).

Na sequência, transformou-se estes ponto em arquivos raster e extraíu-se a resposta espectral para faixas do vermelho e infravermelho próximo. Para o cálculo dos diferentes índices de vegetação, foram necessários dois conjuntos de valores da linha do solo (intercepto e coeficiente angular), que foram calculados a partir do processo de regressão linear utilizando os valores originais de resposta espectral dos solos para cada banda e a imagem obtida a partir da extração das informações dos diferentes solos (Tabela 5.20).

O primeiro conjunto de informações foi obtido tomando a faixa do vermelho como variável independente nos parâmetros da regressão gerando a linha do solo apresentada na figura 5.27, subsidiando a obtenção dos índices PVI 2, PVI 3, TSAVI 1 e TSAVI 2.

Já o outro conjunto foi obtido utilizando a faixa do infravermelho como variável independente, gerando a linha do solo apresentada na Figura 5.28, subsidiando a obtenção dos índices de vegetação PVI, PVI 1, DVI e WDI. A linha do solo utilizada nos diferentes índices passa nas proximidades da base da figura formada pelo conjunto de pontos. Os pontos ao longo dessa linha representam a variabilidade dos solos da área de estudo.

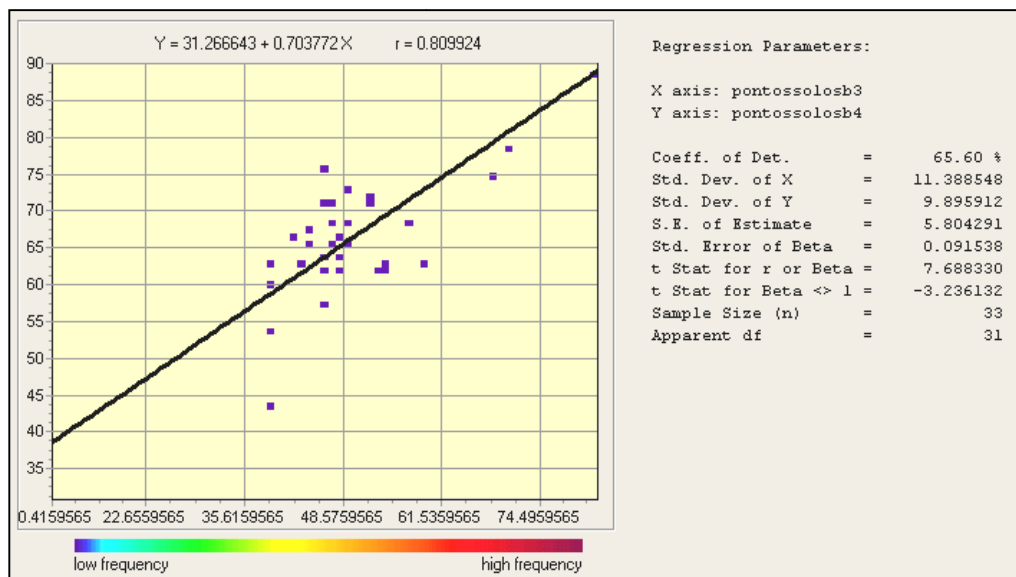


Figura 5.27. Linha do solo (faixa do vermelho como variável independente) - Imagem TM 2005.

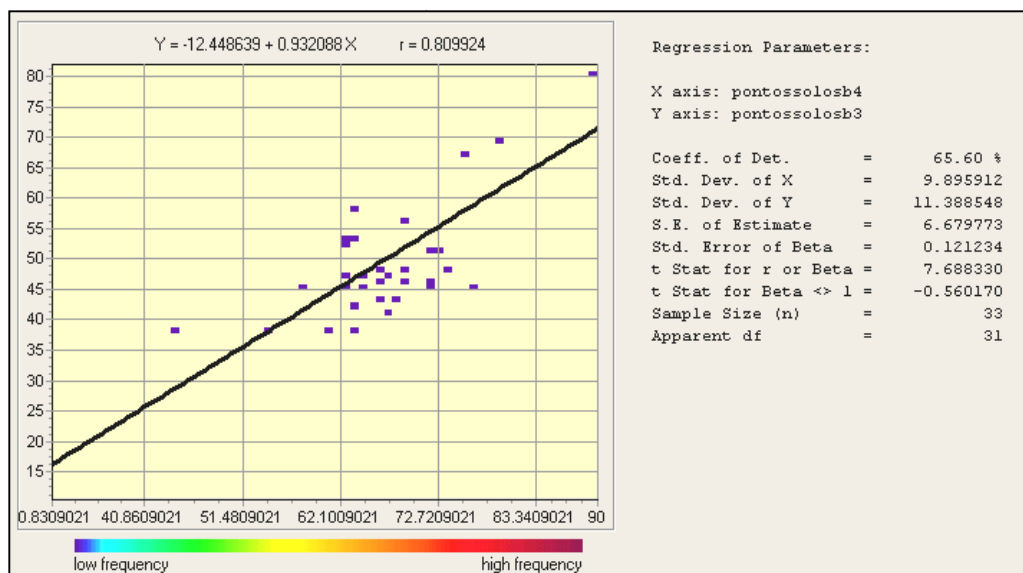


Figura 5.28. Linha do solo (faixa do infra-vermelho como variável independente) - Imagem TM 2005.

Tabela 5.20. Valores obtidos pela linha do solo para a área de estudo, imagem TM 2005.

Variável Independente	Imagem	Intercepto	Coefficiente Angular	r	Índices de Vegetação
Vermelho	2005	31,266643	0,703772	0,80	PVI 2, PVI 3, TSAVI 1, TSAVI 2
Infravermelho próximo	2005	-12,448639	0,932088	0,80	PVI, PVI 1, DVI, WdVI

Após a obtenção dos valores da linha do solo, procedeu-se a geração dos índices de vegetação no ambiente SIG. As imagens-síntese para a imagem de 2005 estão apresentadas nos anexos 2 e 3 (índices de razão simples), anexo 4 e 5 (índices normalizados) e anexo 6 e 7 (índices complexos - ortogonais ou perpendiculares).

Da mesma forma, que para a imagem de 2005, procedeu-se a obtenção dos valores da linha do solo (intercepto e coeficiente angular) para as condições de solo exposto observados na imagem Landsat TM/2008 (Figura 5.29).



Figura 5.29. Pontos obtidos para cálculo da “linha do solo” (TM/Landsat - 13/07/2008).

As regressões para obtenção dos valores da linha do solo (intercepto e coeficiente angular) da imagem TM 2008 estão apresentadas nas Figuras 5.30 e 5.31. Já os valores calculados a partir desse processo estão na tabela 5.21, onde o primeiro conjunto de informações subsidia a obtenção dos índices PVI 2, PVI 3, TSAVI 1 e TSAVI 2 e o segundo para a obtenção dos índices de vegetação PVI, PVI 1, DVI e WDVI. Nos anexos 8 a 13 são apresentadas as imagens sínteses para a imagem de 2008 (razão simples, normalizados e complexos).

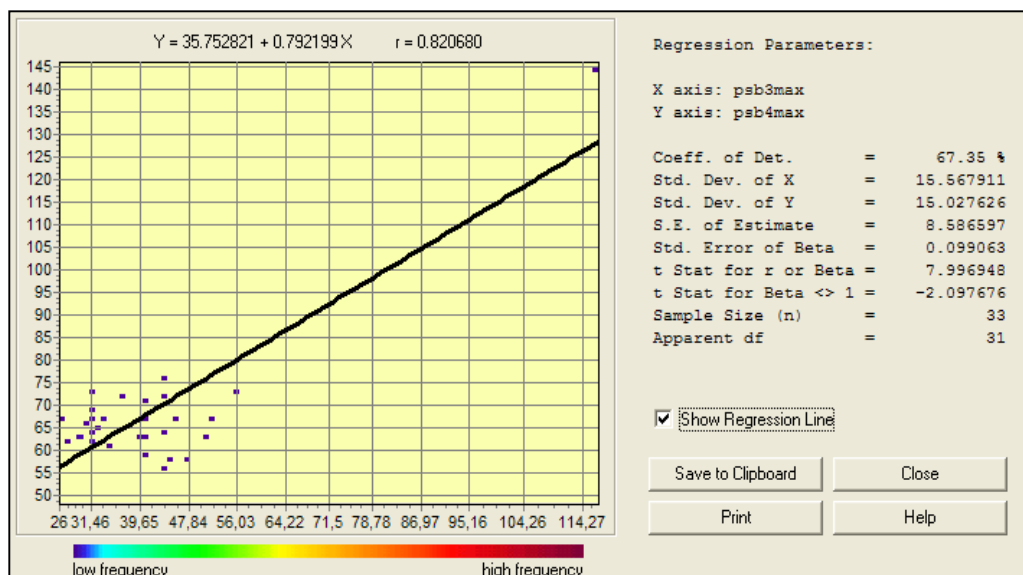


Figura 5.30. Linha do solo (faixa do vermelho como variável independente) - Imagem TM 2008.

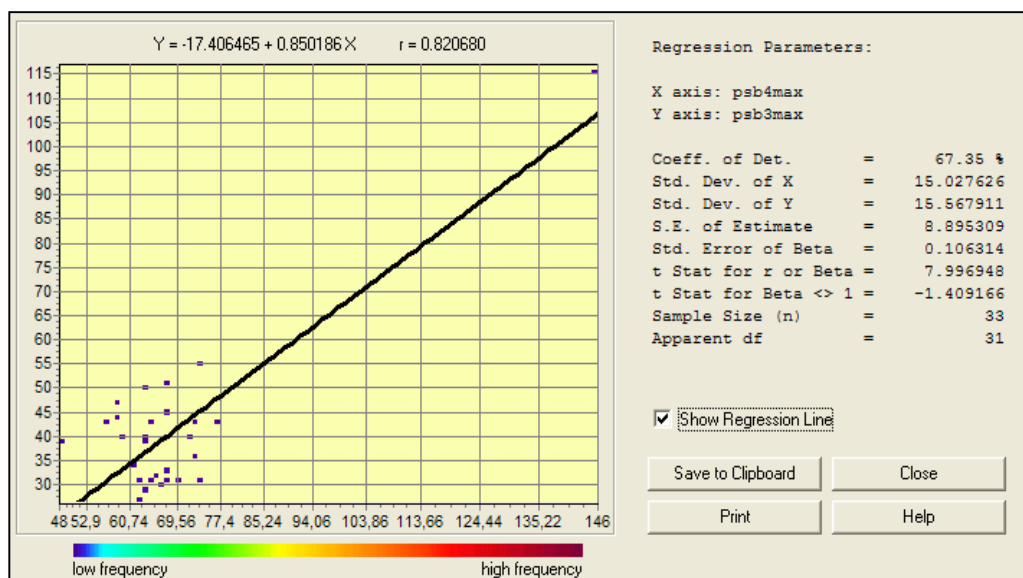


Figura 5.31. Linha do solo (faixa do infra-vermelho como variável independente) - Imagem TM 2008.

Tabela 5.21. Valores obtidos pela linha do solo para a área de estudo, imagem TM 2008.

Variável Independente	Imagem	Intercepto	Coefficiente Angular	r	Índices de Vegetação
Vermelho	2008	35,752821	0,792199	0,82	PVI 2, PVI 3, TSAVI 1, TSAVI 2
Infravermelho próximo	2008	-17,406465	0,850186	0,82	PVI, PVI 1, DVI, WDVI

5.3. Correlação das Variáveis Espectrais e a Biomassa/Carbono nos SAF da Área de Estudo

5.3.1. Regressão entre os dados de Campo e as Variáveis Espectrais

Objetivando relacionar os dados de campo com as variáveis espectrais, geraram-se imagens a partir da espacialização dos dados de estimativa da biomassa/carbono nos pontos amostrais de campo para as diferentes classes de SAF em ambiente SIG para cada ano analisado. Da mesma forma, geraram-se imagens transformadas radiometricamente por meio dos diferentes índices de vegetação analisados. Posteriormente, utilizando módulos específicos dentro do ambiente SIG, geraram-se arquivos diferentes por meio da rotina de *extract* onde se obteve os valores dos atributos das imagens do estoque de carbono (MgC.ha^{-1}) e dos valores das médias espectrais (ND) das imagens obtidas pelos índices de vegetação, conforme exemplificado na Figura 5.32.

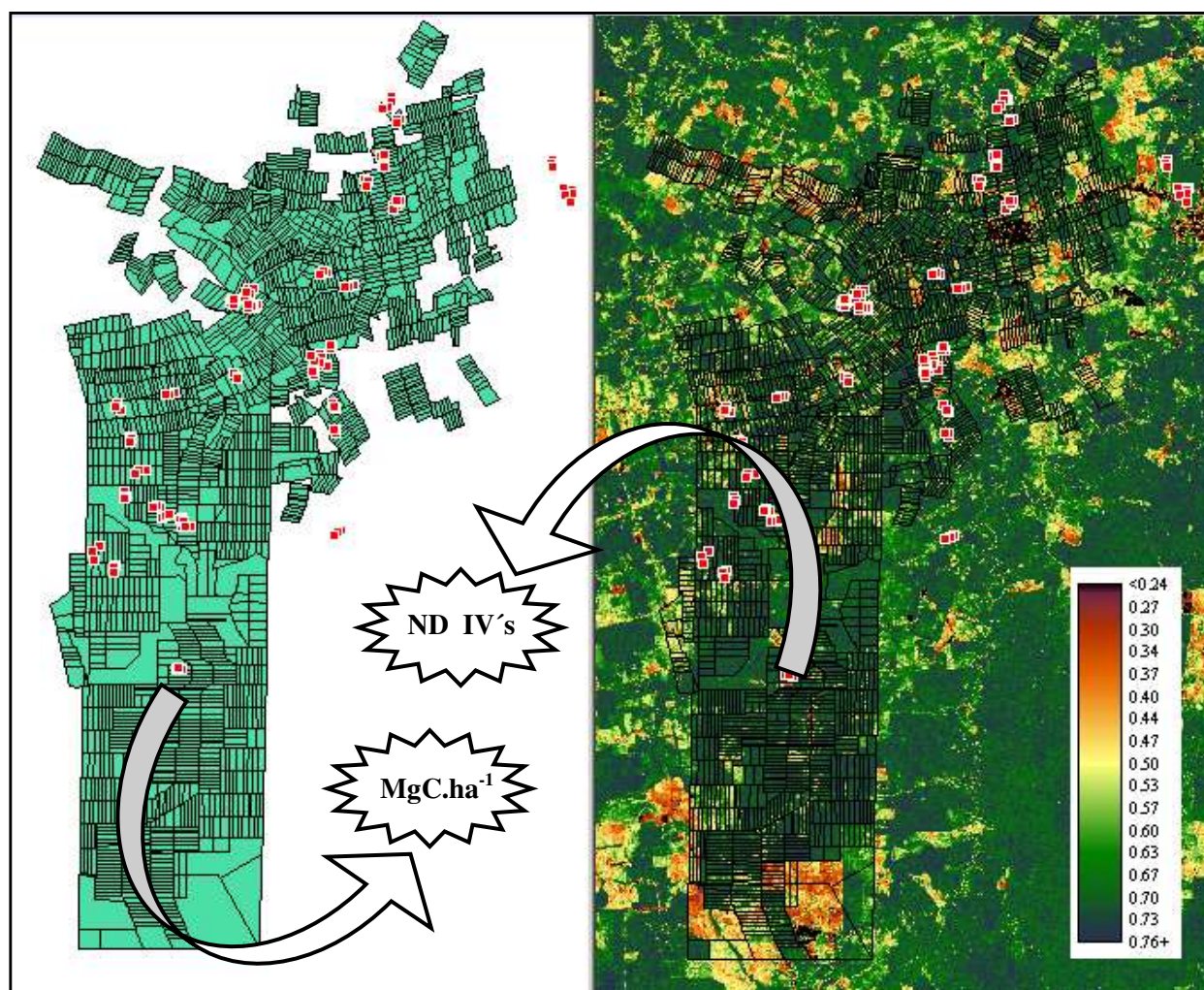


Figura 5.32. Extração dos valores de atributos das imagens (Carbono e Índices de Vegetação).

Metodologicamente, definiu-se avaliar essa correlação entre os valores obtidos de carbono e os valores obtidos pelos índices de vegetação por meio da análise em sistema de regressão linear simples conforme representado na Figura 5.33, onde a é o intercepto do eixo das ordenadas (Y) e b é a declividade da reta. X é a variável independente (valores dos índices de vegetação) e Y a variável dependente (valores de carbono). A última etapa constou de executar a rotina de regressão propriamente, onde os resultados foram obtidos por meio de um gráfico que exibiu a relação proposta e sua equação.

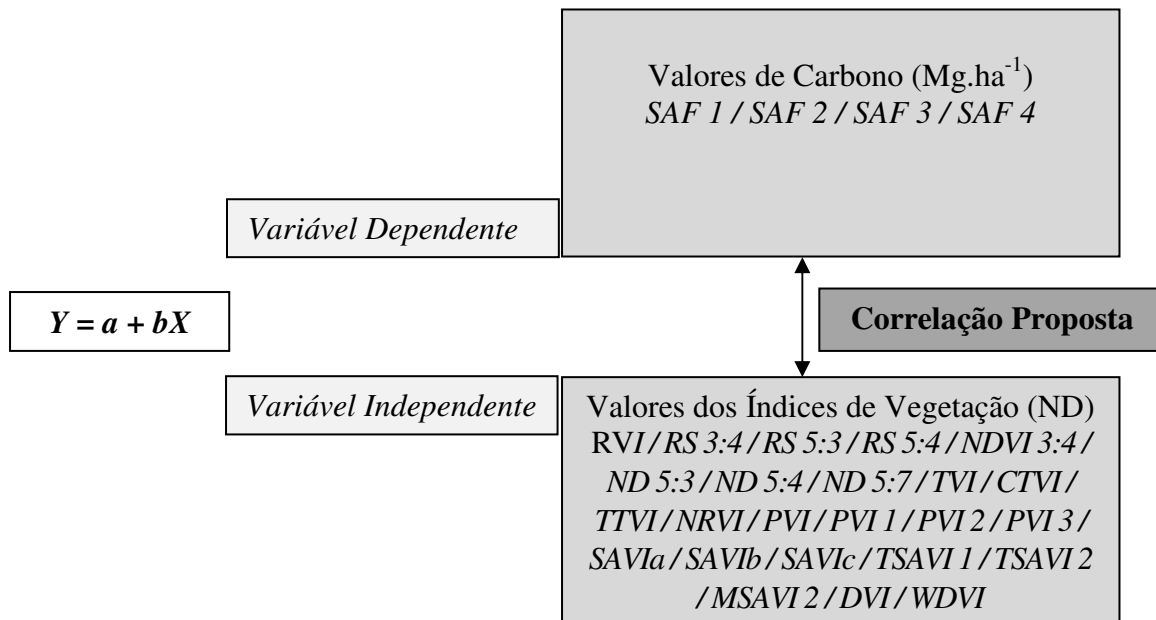


Figura 5.33. Modelo de regressão utilizado para a correlação proposta.

5.3.2. Dados de Campo e as Variáveis Espectrais de 2005

Os gráficos apresentados no anexos 14 a 21 apresentam informações sobre os dados amostrais de carbono e dos índices de vegetação (2005) por meio de um conjunto de pontos e a reta de tendência da regressão que mostra o “maior” ajuste da relação linear entre os dados para cada amostra. Também é gerada a equação obtida pela regressão, tendo como saídas o coeficiente de regressão para cada variável independente, indicando o efeito dessa variável sobre a variável dependente, e o intercepto, que é o valor da variável dependente quando a variável independente assume o valor zero. Observa-se ainda o Coeficiente “ r ”, que indica numericamente o grau de correlação entre a variável independente e a dependente, o Coeficiente de Determinação ou “ r^2 ”, que representa a parcela de variabilidade na variável dependente explicada por todas variáveis independentes e a significância da regressão expressa por meio do “ t ” estatístico, o qual verifica a significância partindo do zero (nenhum efeito).

Assim, utilizando valores obtidos em campo do estoque de carbono para cada classificação agroflorestal (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) como variável dependente e os valores obtidos em cada índice de vegetação (grupo de razão simples, normalizados e complexos) como variável independente, obtiveram-se modelos diferentes, que foram analisados quanto ao seu grau de correlação a partir dos coeficientes r e r^2 que indica as porcentagens das variações de carbono que podem ser explicadas pelas variações nos índices de vegetação.

Na regressão linear simples utilizada, a hipótese nula do teste “t” apresentado foi a de que o coeficiente $Beta=0$, ou seja, quando “t” calculado foi, em módulo, maior que o “t” tabelado para os diferentes graus de liberdade, rejeitou-se a hipótese nula e, portanto obteve-se um modelo significativo. Ao rejeitar-se H_0 é indicativo que a variável X pode ser usada satisfatoriamente na predição do Y, ou seja, pode-se utilizar o índice de vegetação para predizer o estoque de carbono na vegetação do sistema agroflorestal dentro de cada classe analisada nos diferentes índices de vegetação.

Na Tabela 5.22 são apresentados os resultados estatísticos das análises de regressão por classe agroflorestal (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) com os diferentes índices de vegetação da imagem de 2005, divididos por grupo (razão simples, normalizados e complexos). Para melhor compreender e analisar a qualidade das regressões geradas separou-se as correlações em quatro condições de significância:

- 1) significativo pelo teste de “t” de *Student* em nível de 1% de probabilidade de erro;
- 2) significativo pelo teste de “t” de *Student* em nível de 5% de probabilidade de erro;
- 3) significativo pelo teste de “t” de *Student* em nível de 10% de probabilidade de erro;
- 4) correlação não significativa.

De forma global, as correlações analisadas referente aos dados de 2005 foram amplamente satisfatórias, obtendo-se 91% de correlações significativas pelo teste “t” de *Student* acima de 10% de probabilidade de erro. Dessas, aproximadamente 50% com r^2 superiores a 0,60, evidenciando que 60% ou mais das variações de carbono nas diferentes classes agroflorestais podem ser explicadas pelos índices de vegetação utilizados.

Tabela 5.22. Estatísticas das análises de regressão entre classes de SAF's e índices de vegetação para 2005.

Classes		SAF 1			SAF 2			SAF 3			SAF 4		
Índices		r	r ²	t	r	r ²	t	r	r ²	t	r	r ²	t
Razão Simples	RVI	-0,90	0,82	6,14 a	-0,89	0,80	5,65 a	-0,75	0,57	4,51 a	-0,64	0,41	2,67 b
	RS 3:4	0,73	0,54	3,10 b	0,75	0,57	3,29 b	0,78	0,62	4,97 a	0,72	0,52	3,32 a
	RS 5:3	0,64	0,41	2,39 b	0,87	0,76	5,04 a	0,61	0,38	3,04 a	0,71	0,51	3,23 a
	RS 5:4	-0,14	0,02	0,41	-0,21	0,04	0,62	0,75	0,56	4,43 a	-0,64	0,41	2,65 b
Normalizados	NDVI	0,92	0,84	6,64 a	0,88	0,77	5,24 a	0,79	0,63	5,11 a	0,66	0,44	2,81 b
	ND 5:3	0,64	0,42	2,41 b	0,88	0,78	5,39 a	0,62	0,38	3,07 a	0,67	0,45	2,87 b
	ND 5:4	-0,05	0,02	0,14	-0,17	0,02	0,49	-0,70	0,50	3,87 a	-0,64	0,41	2,65 b
	ND 5:7	0,70	0,49	2,80 b	0,87	0,77	5,21 a	0,76	0,59	4,65 a	0,57	0,32	2,20 c
	TVI	0,92	0,84	6,72 a	0,88	0,78	5,45 a	0,78	0,61	4,88 a	0,65	0,43	2,75 b
	CTVI	0,92	0,84	6,72 a	0,88	0,78	5,45 a	0,78	0,61	4,88 a	0,65	0,43	2,75 b
	TTVI	0,92	0,84	6,72 a	0,88	0,78	5,45 a	0,78	0,61	4,88 a	0,65	0,43	2,75 b
	NRVI	-0,92	0,84	6,64 a	-0,88	0,77	5,24 a	-0,79	0,63	5,11 a	-0,66	0,44	2,81 b
Complexos	PVI	-0,87	0,76	5,08 a	-0,83	0,70	4,34 a	-0,78	0,61	4,87 a	-0,72	0,52	3,29 a
	PVI1	0,87	0,76	5,08 a	0,83	0,70	4,34 a	0,78	0,61	4,87 a	0,72	0,52	3,29 a
	PVI2	0,82	0,67	4,06 a	0,85	0,72	4,57 a	0,75	0,56	4,41 a	0,71	0,50	3,21 a
	PVI3	0,63	0,40	2,35 b	0,85	0,73	4,68 a	0,68	0,46	3,62 a	0,69	0,48	3,08 b
	SAVIa	0,91	0,83	6,42 a	0,87	0,76	5,03 a	0,78	0,62	4,98 a	0,68	0,46	2,94 b
	SAVIb	0,90	0,82	6,16 a	0,86	0,75	4,90 a	0,78	0,61	4,94 a	0,69	0,47	3,01 b
	SAVIc	0,89	0,80	5,80 a	0,85	0,73	4,76 a	0,78	0,61	4,89 a	0,69	0,48	3,09 b
	TSAVI1	0,25	0,06	0,75	0,69	0,48	2,76 b	0,47	0,22	2,09 c	0,77	0,59	3,86 a
	TSAVI2	-0,17	0,03	0,51	-0,67	0,46	2,6 b	0,07	0,05	0,28	-0,48	0,23	1,75
	MSAVI2	0,90	0,81	2,40 b	0,85	0,73	4,76 a	0,79	0,62	5,00 a	0,69	0,48	3,06 b
	DVI	0,87	0,76	5,08 a	0,83	0,70	4,34 a	0,78	0,61	4,87 a	0,72	0,52	3,29 a
	WDVI	0,86	0,75	4,93 a	0,84	0,71	4,45 a	0,77	0,59	4,70 a	0,71	0,51	3,26 a

^{a, b, c} Significativo pelo teste de t de Student em nível de 1, 5 e 10% de probabilidade de erro respectivamente.

SAF 1 GL=8 (3,355); SAF 2 GL=8 (3,355); SAF 3 GL= 15 (2,947) e SAF 4 GL=10(3,169) (t a 1%).

SAF 1 GL=8 (2,306); SAF 2 GL=8 (2,306); SAF 3 GL= 15 (2,131) e SAF 4 GL=10(2,228) (t a 5%).

SAF 1 GL=8 (1,860); SAF 2 GL=8 (1,860); SAF 3 GL= 15 (1,853) e SAF 4 GL=10(1,812) (t a 10%).

Não sendo encontrados estudos nas bibliografias consultadas correlacionando variáveis espectrais com características biofísicas de sistemas agroflorestais, optou-se comparar os dados obtidos com referências para diferentes formações florestais.

Os dados observados neste trabalho são superiores aos obtidos por Zerbini (1997) ao correlacionar a biomassa de Florestas Tropicais no estado do Pará com índices de vegetação gerados por meio de imagens TM/Landsat e HRV/Spot, os quais obtiveram correlações inferiores a $r^2=0,40$ e aos encontrados por Accioly et al. (2002) ($r^2=0,33$ a $r^2=0,60$) na estimativa de parâmetros estruturais de vegetação de Floresta Tropical e de Cerrado obtidos via índices de vegetação e modelo linear de mistura espectral em imagens TM/Landsat.

Da mesma forma, os valores obtidos para a região de Tomé-Açu são superiores aos observados por Lu et al. (2005) na correlação de biomassa aérea com índices de vegetação, texturas e modelo de mistura espectral para Florestas Tropicais primárias ($r^2=0,12$ e $0,18$) e semelhantes aos encontrados por Ponzoni e Rezende (2004) ($r^2=0,50$ a $0,76$) e por Lu et al. (2005) ($r^2=0,69$ a $0,81$) para as Florestas Tropicais secundárias utilizando-se de imagens TM/Landsat.

Ao analisar as correlações por agrupamentos de índices, verifica-se que o agrupamento com maior percentual de correlações significativas a 1% de probabilidade de erro pelo teste “t” de *Student* foram os índices complexos com 70,83% das análises. Por outro lado, considerando todas as correlações significativas, os índices normalizados foram os que obtiveram o maior percentual (93,75%). Já os índices de razão simples foram os que apresentaram o menor número de correlações significativas (88,50%) (Tabela 5.23 e Figura 5.34).

Tabela 5.23. Correlações significativas pelo “t” de *Student* por agrupamento de índice de vegetação (2005).

Nível de Significância (“t” de <i>Student</i>)	Agrupamento de Índices		
	Razão Simples	Normalizados	Complexos
Significativo a 1% de erro	9	20	34
Significativo a 5% de erro	5	9	9
Significativo a 10% de erro	0	1	1
Não Significativos	2	2	4
Total	16	32	48

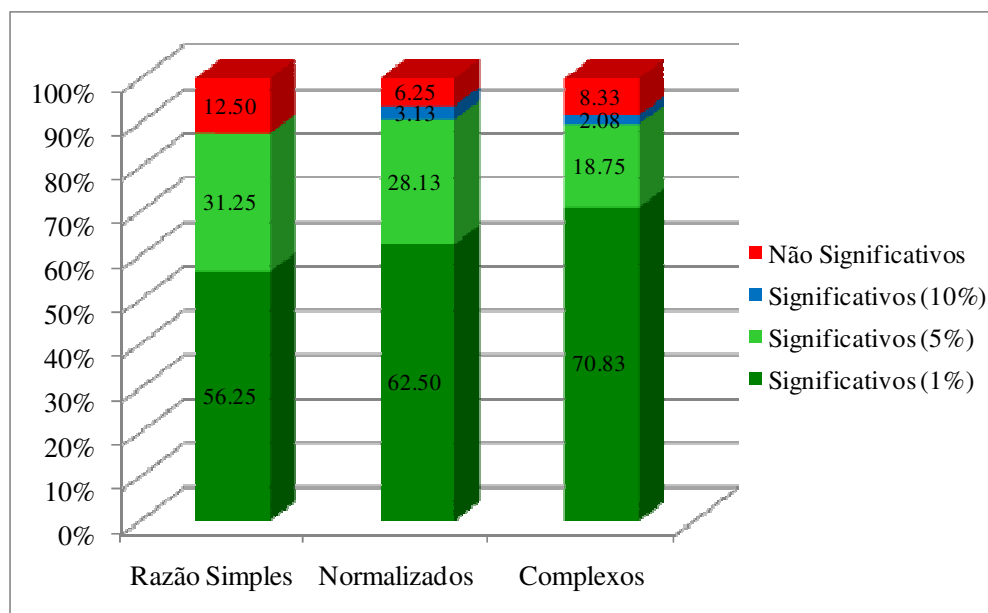


Figura 5.34. Representação do percentual de correlações significativas pelo teste “t” de *Student* por agrupamento de índice de vegetação baseados em dados de 2005.

Quando se analisam as correlações por classe de SAF referentes aos dados de 2005 (Tabela 5.24, Figura 5.35), observa-se que a classe SAF 3 foi a que apresentou o maior número (22 ou 91,67%) de correlações significativas a 1% de probabilidade de erro pelo teste “t” de *Student* e a classe de SAF 1 o maior número de correlações não significativas (4 ou 16,67%). Considerando conjuntamente as correlações significativas nas três probabilidades de erros testadas, as classes SAF 3 e SAF 4 obtiveram o mesmo número (23 ou 95,83%).

Tabela 5.24. Correlações significativas pelo teste “t” de *Student* por classe de SAF (2005).

Nível de Significância (“t” de <i>Student</i>)	Classe de SAF			
	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4
Significativo a 1% de erro	14	19	22	8
Significativo a 5% de erro	6	3	0	14
Significativo a 10% de erro	0	0	1	1
Não-Significativos	4	2	1	1
Total	24	24	24	24

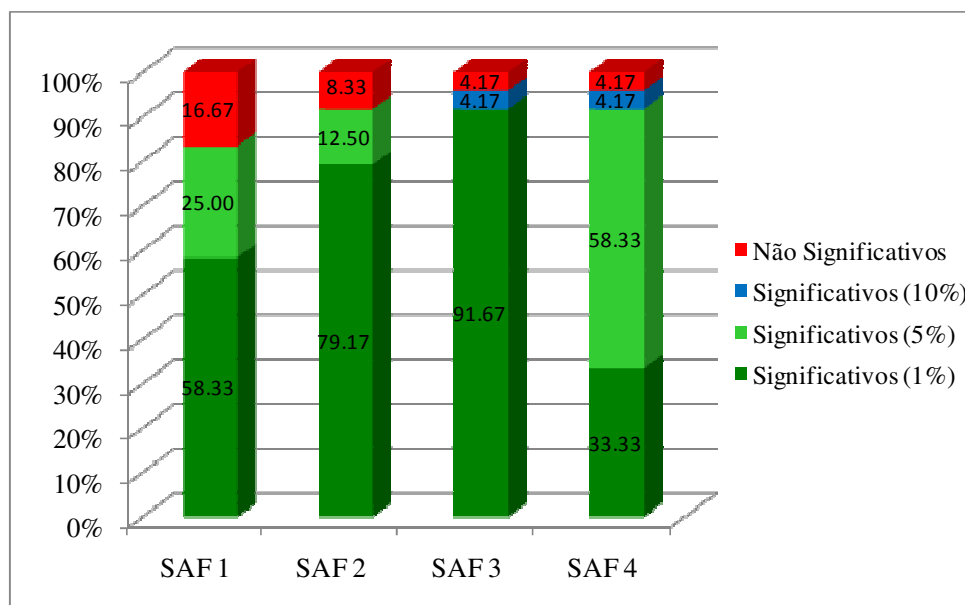


Figura 5.35. Representação das correlações significativas pelo teste “t” de *Student* (2005).

Dentre as correlações não-significativas, na classificação SAF 1, verificou-se índices de vegetação nos três grupos analisados (Figura 5.36a), RS 5:4 (razão simples), ND 5:4 (normalizados) e TSAVI 1 e TSAVI 2 (complexos), sendo que no SAF 2 (Figura 5.36b) a não significância também ocorreu para os índices RS 5:4 e ND 5:4. Já nas classificações SAF 3 (Figura 5.36c) e SAF 4 (Figura 5.36d), o TSAVI 2 foi o único índice que apresentou-se como não significativo (complexos).

A primeira situação em relação aos índices não significativos está relacionada à aplicação da banda TM5 (infravermelho médio) a qual é sensível à turgidez ou quantidade de água na vegetação e com potencial na área na investigação do vigor das plantas (NASA, 2005). A aplicação desta banda neste estudo é em face das correlações elevadas com os parâmetros da floresta tropical, tais como biomassa acima do solo e área basal, que representam a maturidade estrutural da floresta observadas por Lu et al. (2004) e Freitas et al. 2005, não sendo aqui verificadas para os SAF 1 e SAF 2, uma vez que representam estágios iniciais de composição agroflorestal, com vegetação esparsa e grande influência do solo.

Já a baixa correlação dos índices de vegetação TSAVI 1 e TSAVI 2 para as classes SAF 1, SAF 2 e SAF 4 não eram esperadas, pois em suas composições ambos índices introduzem ao SAVI, conforme Baret et al. (1989), coeficientes que deveriam minimizar a interferência do solo sendo indicados para vegetação esparsa (exemplo do SAF 1 e SAF 2). Uma possibilidade dessa

não significância pode estar relacionada com a elevada sensibilidade deste índice à presença de vegetação em senescência, apontada por Liu (2006), o que não é verificado para o caso dos sistemas agroflorestais em estudo.

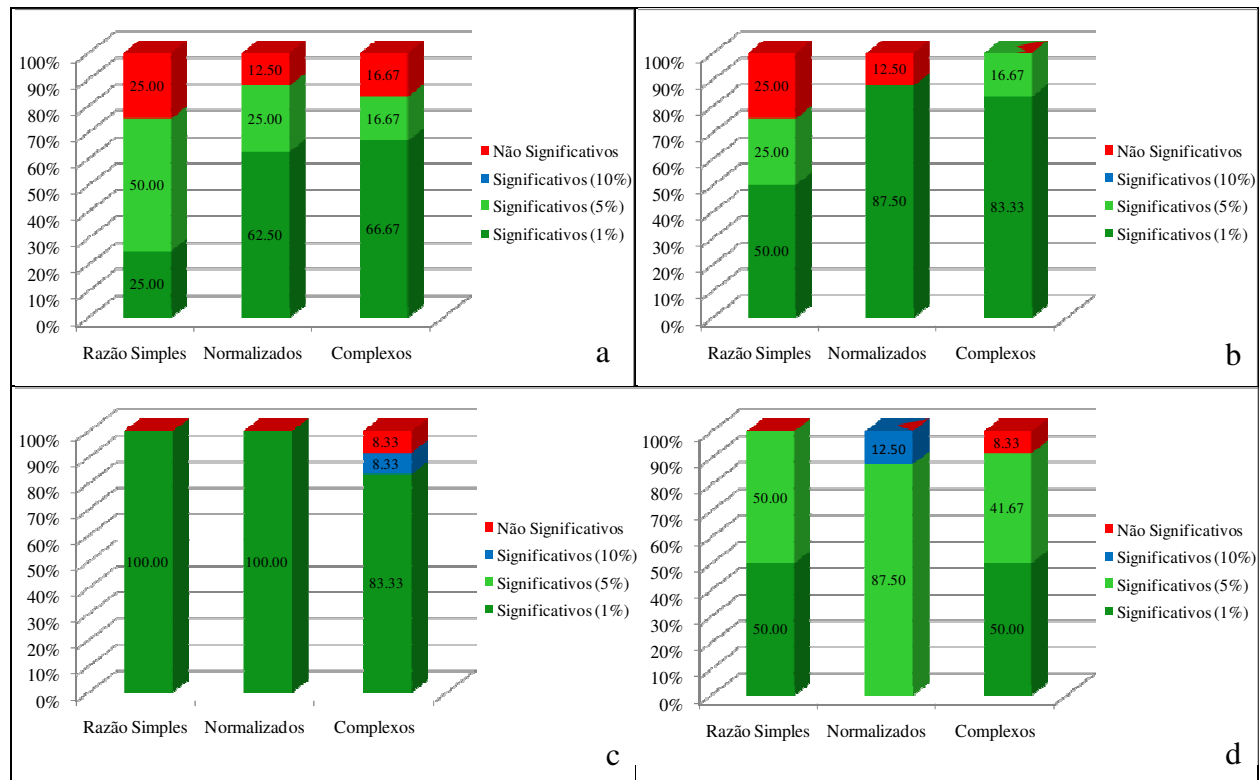


Figura 5.36. Representação das correlações significativas pelo teste “t” de *Student* (2005) para as diferentes classes agroflorestais: a) SAF 1; b) SAF 2; c) SAF 3; e d) SAF 4.

Já dentre as correlações significativas, observa-se que todos os grupos de índices de vegetação obtiveram índices significativos em todas as classes agroflorestais. No grupo de razão simples, três dos quatro índices testados (RVI, RS 3:4 e RS 5:3) foram significativos em algum grau para todas as classes agroflorestais. No grupo dos índices de vegetação normalizados, sete de oito testados (NDVI, ND 5:3, ND 5:7, TVI, CTVI, TTVI e NRVI) foram significativos e dos índices complexos dez dos doze (PVI, PVI1, PVI2, PVI3, SAVIa, SAVIb, SAVIc, MSAVI2, DVI e WDV) testados foram significativos.

Na classe SAF 1 verificou-se que os índices de vegetação do grupo dos normalizados (NDVI, TVI, CTVI, TTVI e NRVI) foram os que obtiveram maiores correlações ($r^2=0,84$) seguidos pelo SAVIa ($r^2= 0,83$) do grupo dos complexos, ambos com significância pelo teste “t” de *Student* a 1% de erro de probabilidade.

Na figura 5.37a é ilustrada uma das áreas amostrais classificada como SAF 1, a qual está representada pela imagem do NDVI, lembrando que os valores para este índice variam de -1 a +1, onde os negativos representam as nuvens, àqueles próximos de zero representam o solo nu ou sem vegetação e quanto mais próximo de 1, maior a densidade e vigor da cobertura vegetal. Assim, os valores observados (entre 0,30 e 0,40) são em função da baixa cobertura vegetal dessa classificação de agrofloresta, conforme levantado em campo, onde o recobrimento de copa médio é inferior a 30% com 6MgC.ha^{-1} . Observa-se na Figura 5.37b, a composição da cobertura vegetal da área em destaque na imagem-síntese NDVI é de, principalmente, gramíneas, com os indivíduos arbóreos ainda em fase inicial de desenvolvimento (até 2 anos), assim, o solo exposto ainda exerce grande influência o que resultou nas correlações melhores para este índice de vegetação e nos demais dentro do grupo dos normalizados (variações do NDVI), pois estes índices são mais sensíveis à vegetação esparsa, conforme indicado por Rouse et al. (1973, 1974), Perry e Lautenschlager (1984), Baret e Guyot (1991) e Thiam (1997). Da mesma forma, dentro do grupo dos índices complexos, o SAVI, que otimiza a resposta espectral da vegetação minimizando os efeitos do solo ao incorporar uma constante de ajuste ao NDVI (Huete, 1988) obteve elevado grau de correlação, em especial o SAVIa, que utilizou $L=1$, indicado para densidades baixas de vegetação.

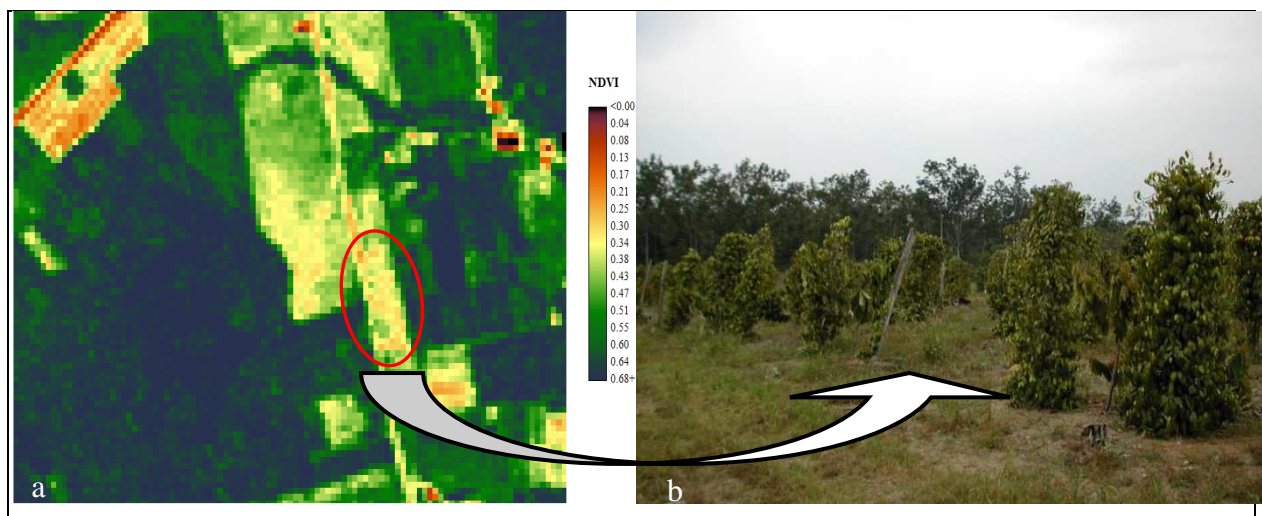


Figura 5.37. Destaque de área classificada como SAF 1, imagem-síntese (NDVI) (a) e em campo (b).

Já na classe SAF 2, a maior correlação foi verificada no grupo de razão simples (RVI) com $r^2 = 0,80$ seguido pelos índices normalizados (ND 5:3, TVI, CTVI, TTVI) com $r^2 = 0,78$ (significância pelo teste “t” de *Student* a 1% de erro de probabilidade).

Observa-se na Figura 5.38a área amostral de SAF 2, representada pela imagem do RVI, com valores entre 0,40 e 0,60. Esses valores são função da baixa cobertura vegetal dessa classificação de agrofloresta, que apesar de idade mais elevada (até cinco anos) e contendo indivíduos com altura superior a 3 m e estoque de carbono médio de $22\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$, ainda apresentou recobrimento de copa abaixo de 45%. Na Figura 5.38b, verifica-se o padrão da composição da cobertura vegetal da área destacada na imagem síntese, onde se observa os indivíduos arbóreos já em fase mais avançada de crescimento, caracterizando inclusive o início de divisão dos estratos. Mesmo assim, foi significativa a parcela do solo exposto, o qual continuou influenciando a resposta espectral desse sistema agroflorestal. Assim, a melhor correlação verificada pelo primeiro índice utilizado, o RVI (Jordan, 1969), pode ser explicado pela razão simples entre as bandas espectrais do infravermelho próximo (faixa que a vegetação mais reflete radiação) e do vermelho (faixa que a vegetação absorve radiação). O segundo melhor valor foi obtido por outro índice de razão simples e alguns normalizados. Isso pode ser explicado, primeiramente, pela utilização da banda do infravermelho médio (TM5) sugerida por Lu et al. (2004) e Freitas et al. 2005, como potencial na análise do vigor das plantas no caso do ND 5:3 e pela sensibilidade dos índices TVI, CTVI e TTVI à vegetação esparsa (Rouse et al., 1974; Perry e Lautenschlager, 1984; Thiam, 1997) ainda característica do SAF 2.

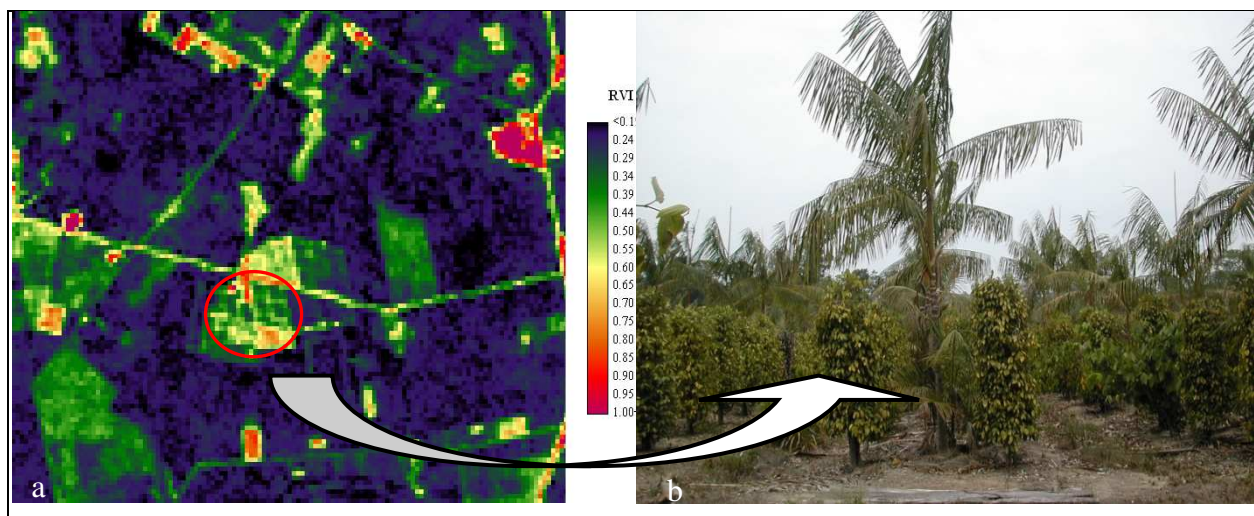


Figura 5.38. Destaque de área classificada como SAF 2, em imagem-síntese (RVI) (a) e em campo(b).

Na classe SAF 3, destacam-se os índices de razão simples e normalizados, os quais tiveram 100% de correlações significativas pelo teste “t” de *Student* a 1% de probabilidade de erro, onde a maior correlação foi observada para os índices NDVI e NRVI (normalizados) com $r^2=0,63$, seguido pelos índices SAVIa e MSAVI2 (complexos) e RS 3:4 (razão simples), com nível de correlação $r^2=0,62$.

Na Figura 5.39a visualiza-se uma das áreas amostrais de SAF 3, a qual está representada pela imagem do NDVI, onde se observa valores acima de 0,55, indicando maior densidade de cobertura vegetal, característica dessa classificação de agrofloresta, conforme levantado em campo, com recobrimento de copa médio superior a 60%, indivíduos superiores a 6 m de altura e atingindo 42MgC.ha^{-1} de estoque de carbono. Observa-se na Figura 5.39b, a composição da cobertura vegetal da área em destaque na imagem-síntese, composta por indivíduos arbóreos já em fase avançada de crescimento (até 12 anos), sendo verificada ainda uma característica de divisão de dois estratos arbóreos com baixa ocorrência de solo exposto na resposta espectral. Porém, apesar dessa baixa ocorrência, os índices normalizados (NDVI e NRVI) indicados para vegetação mais esparsa (Rouse et al., 1973; Baret e Guyot, 1991), foram os que apresentaram as melhores correlações. Outra situação que favorece a interpretação da influência do solo exposto, ainda que em situação inferior aos SAF 1 e SAF 2, está relacionada à segunda “melhor” correlação, obtida pelos índices complexos: SAVIa com fator de correção para remover o “ruído” do solo, otimizando a resposta espectral da vegetação na geração da imagem-síntese (Huete, 1988) e o MSAVI 2, modificando o SAVI com aplicação do fator de correção de maneira não-arbitrária (Qi et al. 1994).

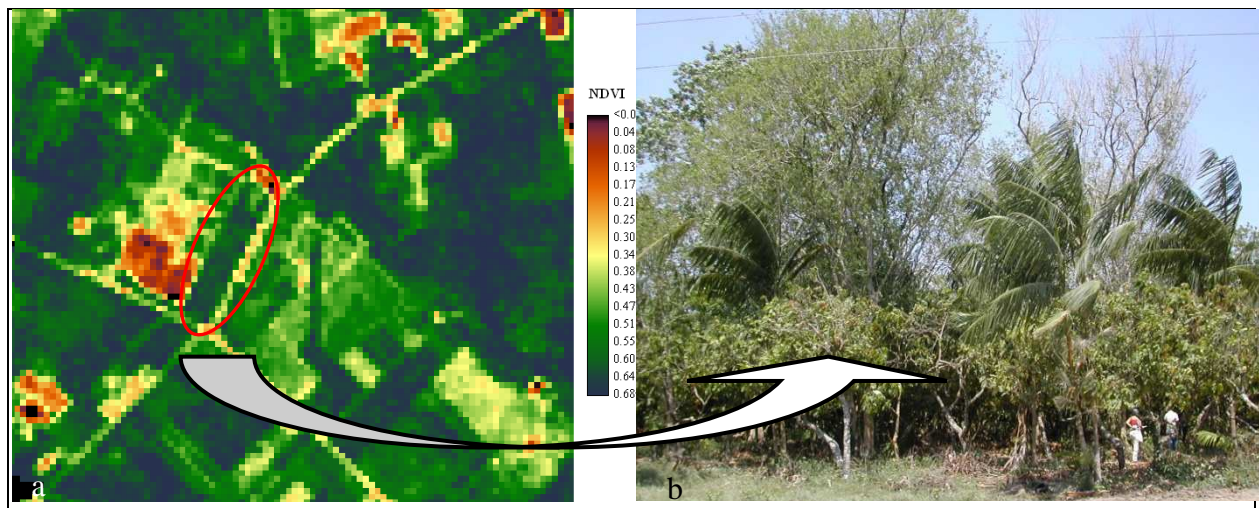


Figura 5.39. Destaque de área classificada como SAF 3, em imagem-síntese (NDVI) (a) e em campo (b).

Na classificação SAF 4, os índices de “maior” correlação foram o TSAVI 1 (complexo) com $r^2=0,59$ seguido dos índices PVI, PVI 1 e DVI (complexos) e RS 3:4 (razão simples), com nível de correlação $r^2=0,52$ e significativos pelo teste “t” de *Student* a 1% de probabilidade de erro.

Na Figura 5.40a é exemplificada uma área amostral de SAF 4, a qual está representada pela imagem do TSAVI 1 com valores mostrando cobertura vegetal elevada. Esta classificação agroflorestal, conforme informações de campo, possui cobertura de copa em torno de 80%, indivíduos com altura superior a 7m e média de 120MgC.ha⁻¹ de estoque de carbono. Observa-se na Figura 5.40b, o padrão da composição vegetal da área destacada na imagem-síntese do TSAVI 1, onde os indivíduos arbóreos apresentam-se em fase avançada em seu estágio de desenvolvimento (idade acima de 15 anos), com estratos arbóreos bem definidos e com baixa influência do solo exposto. Assim, as melhores correlações verificadas nos índices complexos podem ser explicadas por utilizarem além da razão de bandas, parâmetros de ajustes para minimizar a presença ainda existente do solo em meio à vegetação, mesmo que esta presença seja em baixa escala. O TSAVI 1 inclui ajustes ao SAVI, minimizando ainda mais a interferência do solo na resposta espectral (Baret et al., 1989). O índice PVI proposto para eliminar o efeito do solo exposto nos pixels mistos (Richardson e Wiegand, 1977), o PVI 1, discernindo melhor a influência da água da vegetação em relação ao PVI original (Perry e Lautenschlager, 1984) e o DVI, também proposto para minimizar o efeito do solo através de uma constante associada à assinatura espectral do solo no canal do infravermelho próximo (Richardson e Wiegand, 1977).

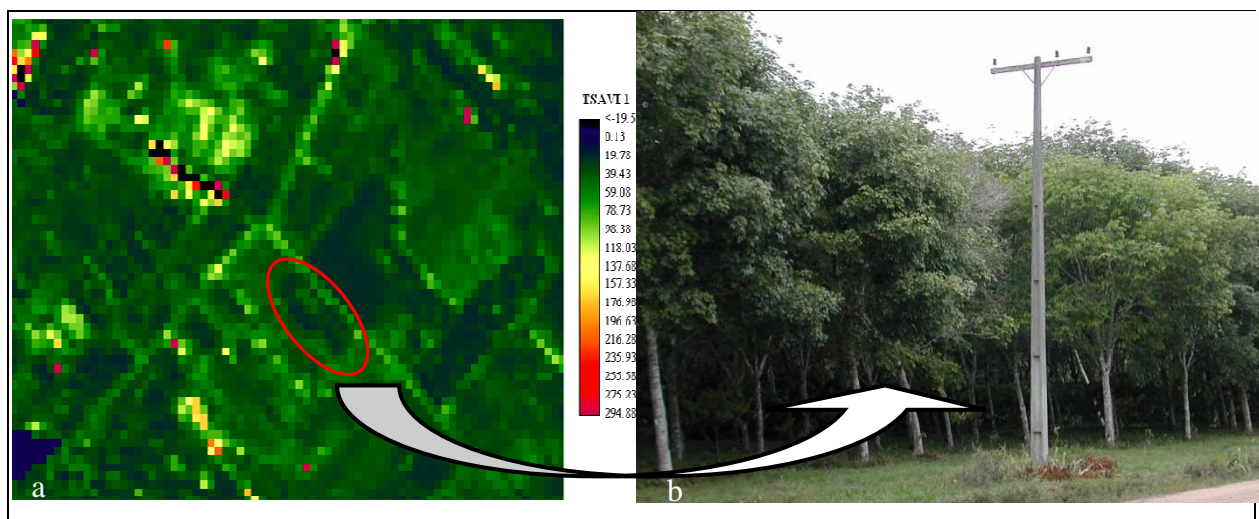


Figura 5.40. Destaque de área classificada como SAF 4, em imagem-síntese (TSAVI 1) (a) e em campo (b).

Dentre as observações gerais dos valores apresentados na Tabela 5.22, pode-se ainda analisar aspectos peculiares relacionados a cada classe ou grupos de índices. Primeiramente, destacam-se os índices de razão simples, pois mesmo sendo os precursores da evolução dos índices de vegetação com o RVI ainda na década de 60, estes apresentaram valores elevados de correlação, figurando entre os mais elevados para as classes SAF 2, SAF 3 e SAF 4 (maior biomassa) como apontado por Jensen (2009) ao abordar que grande parte do intervalo dinâmico dos índices de razão simples abrange alta biomassa, mas com pouca variação reservada para baixa biomassa. Porém, Liu (2006) destaca que os índices de razão simples, em especial o RVI, apesar de ser um bom indicador da estimativa da biomassa. Tem interferência atmosférica que afetam seu valor absoluto, comprometendo a interpretação dos resultados, o que foi observado nas imagens sínteses deste estudo.

Dentre os índices da classe dos normalizados, destaca-se o NDVI, que é amplamente citado na literatura como índice que obtêm altas correlações com fatores vegetativos, sejam agrícolas ou florestais (Ponzoni e Shimabukuro, 2007), fato também observado neste estudo, em especial nas classes SAF 1 ($r^2=0,84$) e SAF 2 ($r^2=0,77$) com menor biomassa. Porém, ao analisarmos os valores de correlação deste índice para as demais classes agroflorestais, verifica-se a diminuição dos valores de forma linear, no SAF 3 ($r^2 = 0,63$) e no SAF 4 ($r^2=0,44$) não figurando entre as “melhores” correlações observadas para estas classes de maior biomassa. Situação também apontada por outros trabalhos, onde o NDVI é ampliado a favor de condições de baixa biomassa, sendo comprimido a favor de alta biomassa, indicando saturação deste índice quando se elevam os índices de área foliar (Jensen, 2009).

Quanto aos índices da classe dos complexos, fato que merece atenção é o comportamento dos índices PVI, PVI1, PVI2, DVI e WDI, os quais foram os únicos significativos a 1% de probabilidade de erro para todas as classes de SAF (1, 2, 3 e 4) dentre os 24 índices observados neste estudo. Assim, estes podem ser aplicados com sucesso para prever o estoque de carbono na vegetação dos diferentes sistemas agroflorestais. Este fato pode ser explicado pela aplicação dos dados obtidos pela “linha do solo” (intercepto e coeficiente angular) no desenvolvimento das imagens-síntese, envolvendo alteração na ortogonalidade dos eixos de dispersão dos dados, ou seja, estes índices se fundamentam no contraste espectral existente entre a vegetação e as características do solo (Epiphanio e Formaggio, 1990).

Na Tabela 5.25 são apresentados alguns dos modelos de regressão “melhores” ajustados pelo sistema de regressão linear simples entre os dados de carbono obtidos em campo e os dados espectrais obtidos por meio das imagens-síntese (imagem TM 2005), os quais podem prever o estoque de carbono na vegetação dos diferentes sistemas agroflorestais para a região de Tomé-Açu, PA.

Tabela 5.25. Modelos de “melhor” ajuste indicados para estimativa de carbono de SAF’s em Tomé-Açu, PA (Imagem Landsat TM/2005).

Classe de SAF	Modelo de Regressão	r ²
SAF 1	Carbono = -15,368 + 81,976 * NDVI ^a	0,84
SAF 2	Carbono = 41,527 – 55,370 * RVI ^a	0,80
SAF 3	Carbono = - 34,349 + 134,145 * NDVI ^a	0,63
SAF 4	Carbono = - 59,502 + 6,2956 * TSAVI 1 ^a	0,59

^a Significativo pelo teste de *t* de Student em nível de 1% de probabilidade de erro.

r² Coeficiente de determinação.

5.3.3. Dados de Campo e as Variáveis Espectrais de 2008

Visando analisar temporalmente os índices de vegetação e sua aplicação na predição do carbono em sistemas agroflorestais, executou-se a metodologia acima descrita também para a imagem e os dados de campo de 2008. Nos anexos 22 a 29 apresentam-se os gráficos que demonstram informações sobre os dados amostrais de carbono e dos índices de vegetação com os dados de 2008. Na Tabela 5.26 são apresentados os resultados estatísticos das análises de regressão por classe agroflorestal (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) com os diferentes índices de vegetação, divididos por grupo (razão simples, normalizados e complexos).

Da mesma forma que para a imagem de 2005, após a elaboração das regressões, estas foram separadas em quatro graus de correlação:

- 1) significativo pelo teste de “t” de Student em nível de 1% de probabilidade de erro;
- 2) significativo pelo teste de “t” de Student em nível de 5% de probabilidade de erro;
- 3) significativo pelo teste de “t” de Student em nível de 10% de probabilidade de erro;
- 4) correlação não-significativa.

Tabela 5.26. Estatísticas das análises de regressão entre classes de SAF's e índices de vegetação para 2008.

Classes		SAF 1			SAF 2			SAF 3			SAF 4		
Índices		r	r ²	t	r	r ²	t	r	r ²	t	r	r ²	t
Razão Simples	RVI	-0,61	0,37	1,74	0,78	0,62	3,84 a	-0,80	0,65	3,90 a	0,23	0,05	0,91
	RS 3:4	0,57	0,32	1,56	-0,80	0,65	4,14 a	0,79	0,63	3,76 a	-0,38	0,14	1,56
	RS 5:3	-0,73	0,54	2,42 c	0,18	0,03	0,57	-0,29	0,08	0,87	0,51	0,26	2,24 b
	RS 5:4	0,43	0,19	1,09	-0,83	0,70	4,62 a	0,69	0,48	2,73 b	-0,01	0,03	0,06
Normalizados	NDVI	0,60	0,36	1,71	-0,80	0,64	4,07 a	0,81	0,66	3,94 a	-0,28	0,08	1,11
	ND 5:3	-0,73	0,53	2,38 c	0,14	0,02	0,44	-0,27	0,07	0,80	0,52	0,27	2,29 b
	ND 5:4	0,48	0,23	1,25	-0,84	0,71	4,73 a	0,73	0,53	3,06 a	0,02	0,08	0,10
	ND 5:7	-0,48	0,23	1,22	0,85	0,73	4,94 a	-0,69	0,48	2,73 a	0,36	0,13	1,46
	TVI	0,61	0,37	1,72	-0,80	0,64	4,00 a	0,81	0,65	3,93 a	-0,26	0,07	1,04
	CTVI	0,61	0,37	1,72	-0,80	0,64	4,00 a	0,81	0,65	3,93 a	-0,26	0,07	1,04
	TTVI	0,61	0,37	1,72	-0,80	0,64	4,00 a	0,81	0,65	3,93 a	-0,27	0,07	1,05
	NRVI	-0,60	0,36	1,71	0,80	0,64	4,07 a	-0,81	0,66	3,94 a	0,28	0,08	1,11
Complexos	PVI	-0,60	0,36	1,70	0,62	0,39	2,42 b	-0,34	0,12	1,04	0,70	0,49	3,69 a
	PVI1	0,60	0,36	1,70	-0,62	0,39	2,42 b	0,34	0,12	1,04	0,70	0,49	3,69 a
	PVI2	0,60	0,36	1,69	-0,56	0,32	2,06 c	0,26	0,07	0,78	-0,73	0,54	4,05 a
	PVI3	0,55	0,31	1,50	-0,36	0,13	1,18	0,08	0,07	0,50	-0,78	0,61	4,73 a
	SAVIa	0,61	0,37	1,72	-0,76	0,58	3,58 a	0,69	0,47	2,70 b	-0,49	0,24	2,14 b
	SAVIb	0,61	0,37	1,73	-0,74	0,54	3,30 a	0,61	0,37	2,20 c	-0,57	0,32	2,59 b
	SAVIc	0,61	0,37	1,73	-0,71	0,50	3,03 b	0,53	0,28	1,77	-0,62	0,39	3,00 a
	TSAVI1	-0,58	0,33	1,59	-0,01	0,02	0,04	-0,29	0,08	0,86	-0,70	0,50	3,77 a
	TSAVI2	0,60	0,36	1,68	-0,79	0,63	3,91 a	0,88	0,78	5,39 a	0,10	0,01	0,39
	MSAVI2	0,61	0,37	1,72	-0,74	0,55	3,33 a	0,63	0,40	2,31 b	-0,57	0,33	2,64 b
	DVI	0,60	0,36	1,70	-0,62	0,39	2,42 b	0,34	0,12	1,04	-0,70	0,49	3,69 a
	WDVI	0,60	0,36	1,69	-0,57	0,33	2,12 c	0,27	0,07	0,82	-0,73	0,53	3,99 a

^{a, b, c} Significativo pelo teste de t de Student em nível de 1, 5 e 10% de probabilidade de erro respectivamente.

SAF 1 GL=5 (4,032); SAF 2 GL=9 (3,250); SAF 3 GL=8 (3,355) e SAF 4 GL=14(2,977) (t a 1%).

SAF 1 GL=5 (2,571); SAF 2 GL=9 (2,262); SAF 3 GL=8 (2,306) e SAF 4 GL=14(2,145) (t a 5%).

SAF 1 GL=5 (2,015); SAF 2 GL=9 (1,833); SAF 3 GL=8 (1,860) e SAF 4 GL=14(1,761) (t a 10%).

À semelhança do ocorrido com os dados de 2005, optou-se por comparar as correlações obtidas com as variáveis espectrais e as características biofísicas de sistemas agroflorestais com dados obtidos em estudos com diferentes formações florestais.

Apesar das baixas correlações observadas para a classe de SAF 1, de forma geral, os dados foram superiores aos observados por Zerbini (1997) ao correlacionar a biomassa de Florestas Tropicais no estado do Pará com índices de vegetação gerados por meio de imagens TM/Landsat e HRV/Spot, os quais obtiveram correlações inferiores a $r^2=0,40$ e foram superiores, também, aos encontrados por Accioly et al. (2002) ($r^2=0,33$ a $r^2=0,60$) na estimativa de parâmetros estruturais de vegetação de Floresta Tropical e de Cerrado obtidos através de índices de vegetação e modelo linear de mistura espectral em imagens TM/Landsat.

Da mesma forma, os valores obtidos para a região de Tomé-Açu foram superiores aos observados por Lu et al. (2005) na correlação de biomassa aérea com índices de vegetação, texturas e modelo de mistura espectral para florestas tropicais primárias ($r^2= 0,12$ e $0,18$) e semelhantes aos encontrados por Ponzoni e Rezende (2004) ($r^2=0,50$ a $0,76$) e por Lu et al. (2005) ($r^2=0,69$ a $0,81$) para florestas tropicais secundárias utilizando-se de imagens TM/Landsat.

Ao analisar as correlações por agrupamentos de índices, verifica-se que o agrupamento com maior percentual de correlações significativas a 1% de probabilidade de erro pelo teste “t” de *Student* são os Índices Normalizados com 43,75% das análises. Por outro lado, considerando todas as correlações significativas, os índices complexos foram os que obtiveram o maior percentual (52,08%). Os índices de Razão Simples e Normalizados foram os que apresentaram o maior número de correlações não significativas (50%) (Tabela 5.27 e Figura 5.41).

Tabela 5.27. Correlações significativas pelo teste “t” de *Student* por agrupamento de índice de vegetação (2008).

Nível de Significância (“t” de <i>Student</i>)	Agrupamento de Índice		
	Razão Simples	Normalizados	Complexos
Significativo a 1% de erro	5	14	13
Significativo a 5% de erro	2	1	9
Significativo a 10% de erro	1	1	3
Não Significativos	8	16	23
Total	16	32	48

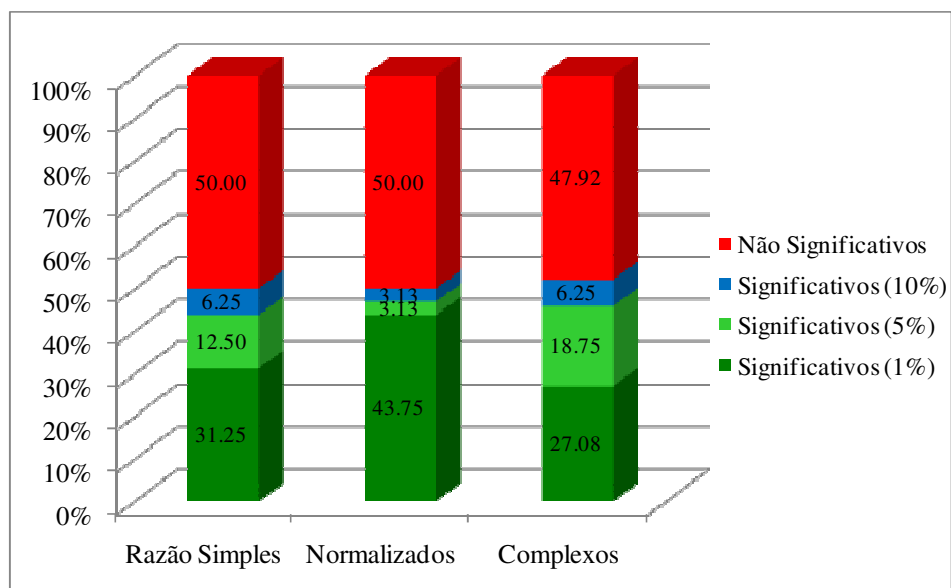


Figura 5.41. Representação do percentual de correlações significativas pelo teste “t” de *Student* por agrupamento de índice de vegetação (2008).

Quando se analisam as correlações por classe de SAF referentes aos dados de 2008 (Tabela 5.28 e Figura 5.42), observa-se que a classe SAF 2 foi a que apresentou o maior número (14 ou 58,33%) de correlações significativas a 1% de probabilidade de erro pelo teste “t” de *Student* e a classe SAF 1 o maior número de correlações não-significativas (22 ou 91,67%). Considerando conjuntamente as correlações significativas nas três probabilidades de erros testadas, a classe SAF 2 também obteve o número mais expressivo (20 ou 83,33%).

Tabela 5.28. Correlações significativas pelo teste “t” de *Student* por classe de SAF (2008).

Nível de Significância (“t” de <i>Student</i>)	Classe de SAF			
	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4
Significativo a 1% de erro	0	14	10	8
Significativo a 5% de erro	0	4	3	5
Significativo a 10% de erro	2	2	1	0
Não Significativos	22	4	10	11
Total	24	24	24	24

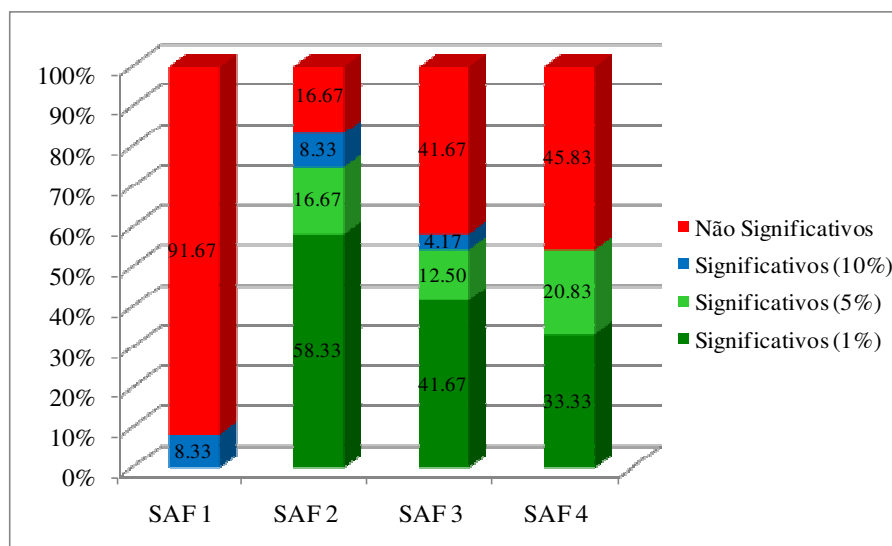


Figura 5.42. Representação de correlações significativas pelo “t” de *Student* (2008).

Dentre as correlações não-significativas, as classes SAF 1 e SAF 4 apresentaram semelhança nos IV’s dos três grupos (Figura 5.43a), RVI, RS 3:4 e RS 5:4 (razão simples), NDVI, ND 5:4, ND 5:7, TVI, CTVI, TTVI e NRVI (normalizados) e TSAVI 2 (complexos). A não-significância também ocorreu de forma semelhante entre as classes SAF 2 e SAF 3 para os índices RS 5:3, ND 5:3, PVI 3 e TSAVI 1. Destaca-se que todos índices foram significativos para pelo menos uma das classes.

As baixas correlações observadas na classe SAF 1, apesar de positivas, nos três grupos de índices analisados, possivelmente estão relacionadas com o predomínio de gramíneas e indivíduos de porte arbustivo, pois não foram suficientemente densas para cobrir a superfície, interferindo na resposta espectral dessa classe em função da mistura entre solo exposto e vegetação. Assim, embora alguns dos IV’s como o SAVI, TSAVI e MSAVI reduziram essas interferências, estes não apresentaram correlações significativas com as correlações obtidas com a imagem de 2005. Talvez ocasionado pelas elevadas precipitações em 2008 (Embrapa, 2008), o que pode ter influenciado na umidade e cor do solo dessas áreas, ocasionando as baixas correlações entre imagens TM e a vegetação com biomassa reduzida, conforme apontado por Lu et al. (2005). Já na classificação SAF 4, as baixas correlações obtidas nos grupos de índices de razão simples e normalizados (sem aplicação da “linha do solo”) em contraponto com as “melhores” correlações obtidas no grupo dos índices complexos (com aplicação da “linha do solo”) para a imagem de 2008, podem ser explicadas pelas modificações na arquitetura do dossel da vegetação florestal, ocasionando efeito antagônico, o qual é destacado por Ponzoni (2001). Este efeito seria em função dos primeiros estágios do sistema agroflorestal apresentarem um estrato mais uniforme e com maior participação do solo na

refletância. Na região do infravermelho, os valores de refletância serão elevados. Por outro lado, na região do visível serão mínimos. Já no estágio mais avançado, onde o solo está praticamente todo coberto, surge diferentes estratos no dossel em razão da dominância de alguns indivíduos. Logo, a quantidade de sombras aumentará, resultando em menores valores de refletância do dossel. Dessa forma, os índices indicariam valores menores de biomassa, quando na realidade, houve incremento na classe SAF 4 em relação as classes SAF 2 e SAF 3.

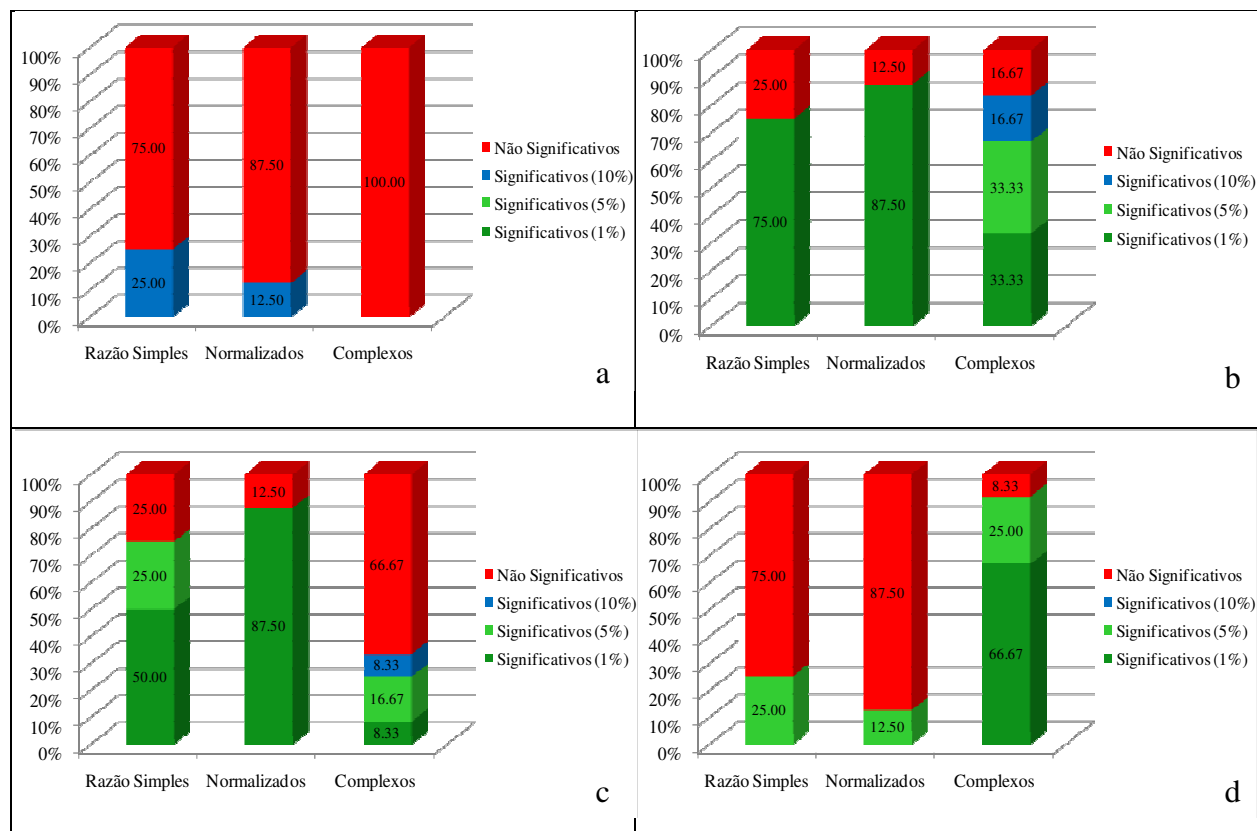


Figura 5.43. Representação das correlações significativas pelo “t” de *Student* (2008) para as diferentes classes agroflorestais: a) SAF 1; b) SAF 2; c) SAF 3; e d) SAF 4.

Já, dentre as correlações significativas na análise de regressão, ou seja, as quais podem ser aplicadas na predição do estoque de carbono, observa-se que os grupos de índices de vegetação de razão simples e normalizados obtiveram valores significativos em todas as classes agroflorestais. Já, o grupo dos complexos, a exceção foi para a classe de SAF 1. No grupo de razão simples e dos normalizados, os índices testados foram significativos em algum grau para pelo menos duas classes agroflorestais. No grupo dos índices de vegetação complexos, somente três dos doze testados (SAVIa, SAVIb e MSAVI 2) foram significativos em algum grau para três classes agroflorestais (SAF 2, SAF 3 e SAF 4) e outros sete (PVI, PVI 1, PVI 2, SAVIc, TSAVI 2, DVI e WDI) para duas classes.

Na classificação SAF 1, as correlações entre o carbono e os IV's foram, em geral, baixas, onde apenas um dos índices de vegetação do grupo de razão simples (RS 5:3) e um dos normalizados (ND 5:3) obtiveram correlações significativas pelo teste “t” de *Student* (10% de erro de probabilidade) com $r^2=0,54$ e $r^2= 0,53$ respectivamente.

A Figura 5.44a ilustra uma das áreas amostrais classificada como SAF 1, a qual está representada pela imagem de razão simples RS 5:3. Destaca-se que os menores valores, neste caso, indicam maior densidade de cobertura vegetal e os valores mais elevados representam o solo nu ou sem vegetação. Assim, os valores observados entre 0,35 e 0,40 são em função da baixa cobertura vegetal dessa classe agroflorestral, onde o recobrimento de copa era inferior a 30% e o estoque de carbono em torno de 6MgC.ha^{-1} , conforme levantados em campo. Na Figura 5.44b, visualiza-se a cobertura vegetal da área em destaque na imagem-síntese RS 5:3, composta principalmente por gramíneas e indivíduos arbóreos em fase inicial de desenvolvimento (até dois anos). Dessa forma, o solo exposto exerce influência. Os índices de vegetação mais sensíveis a essa influência, como o NDVI e os derivados do SAVI, não apresentaram correlações significativas. Por outro lado, os índices que tiveram em sua composição as bandas TM3 e TM5 (infravermelho médio) foram os que apresentam correlações melhores. A aplicação da TM5 é indicada por Lu et al. (2004) e Freitas et al. (2005), como potencial para correlações com a biomassa, principalmente de áreas florestais estabelecidas, o que não seria esperado para o SAF 1 por apresentar-se ainda no estágio inicial de composição agroflorestral, com vegetação esparsa e com grande influência do solo.

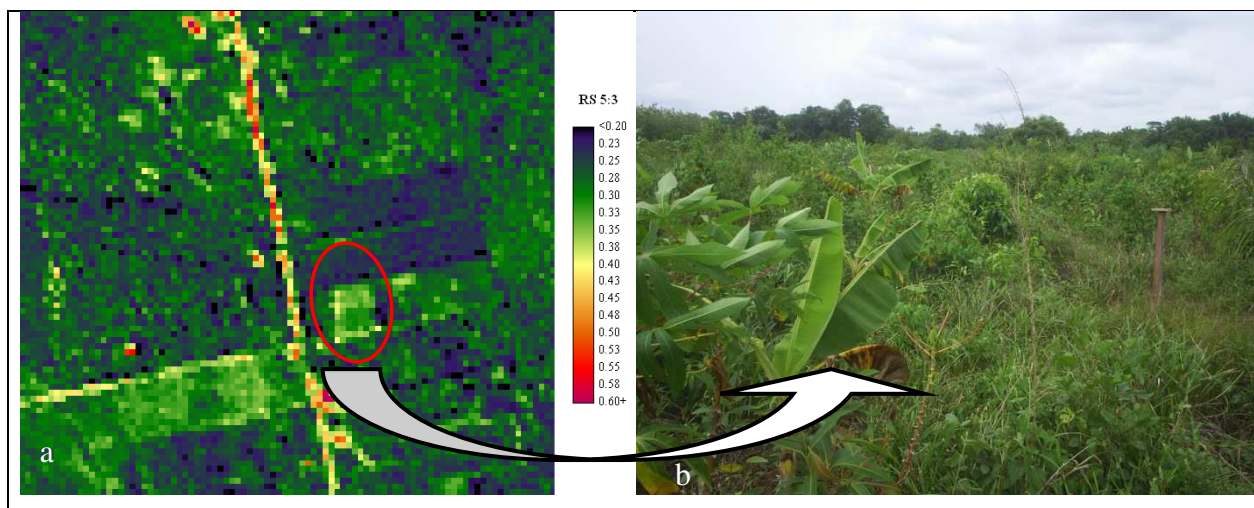


Figura 5.44. Destaque de área classificada como SAF 1, em imagem-síntese (RS 5:3) (a) e em campo (b).

Na classe SAF 2, as correlações analisadas foram relativamente significativas, sendo que a maior correlação foi observada no grupo dos índices normalizados (ND 5:7) com $r^2=0,73$ seguido pelo índice de razão simples (RS 5:4) com $r^2=0,70$, ambos com significância pelo teste “t” de *Student* a 1% de erro de probabilidade.

Observa-se na Figura 5.45a a imagem ND 5:7 com destaque de área amostral de SAF 2, onde baixa verifica-se cobertura vegetal dessa classificação de agrofloresta, que apesar de indivíduos arbóreos com altura superior a 3m e idade mais elevada (até cinco anos) o recobrimento de copa (45%) e a média de carbono ($22\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$) ainda eram relativamente baixos, conforme dados de campo. Dessa forma, foi possível ainda verificar (Figura 5.45b) o início da divisão de dois estratos vegetativos, porém significativa a parcela do solo exposto, o qual continua influenciado a resposta espectral dessa classe agroflorestal. A maior correlação, verificada pelo índice normalizado ND 5:7, o qual utilizou bandas do infravermelho médio, pode ser explicada pelas relações inversas (antagônicas) esperadas nas regiões do visível e do infravermelho médio apontadas por Ponzoni (2001), Ponzoni e Resende (2004) ao considerarem aspectos entre a interação da vegetação/sombra e a radiação eletromagnética. A segunda maior correlação obtida por outro índice (RS 5:4) gerado a partir de banda do infravermelho médio (TM5) é apontada por Lu et al. (2004) e Freitas et al. (2005), como potencial na análise do vigor das plantas, apesar da baixa densidade da cobertura vegetal, ainda característica do SAF 2.

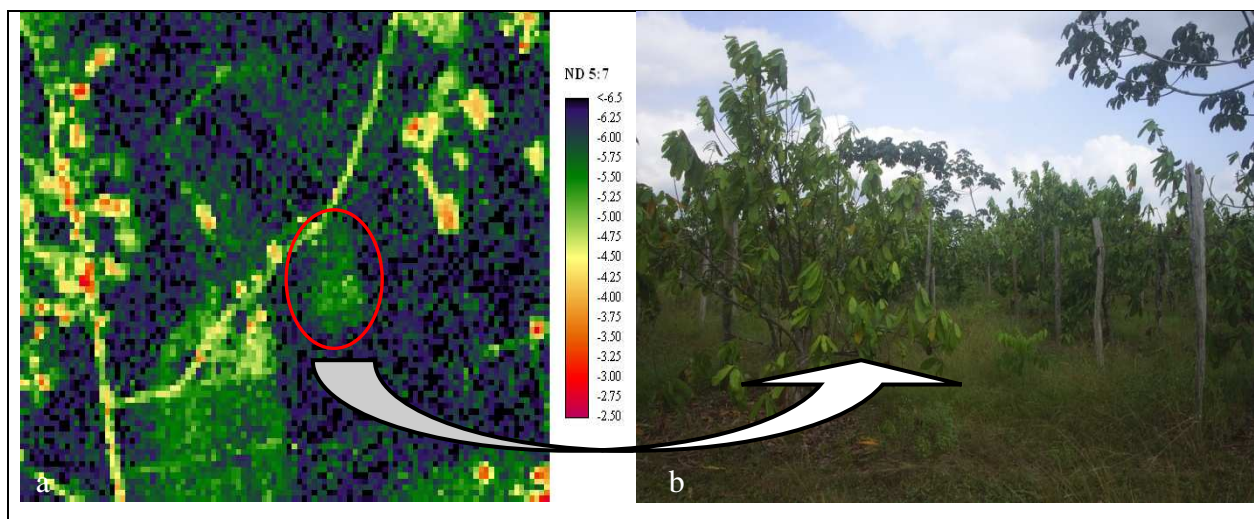


Figura 5.45. Destaque de área classificada como SAF 2, em imagem-síntese (ND 5:7) (a) e em campo (b).

Na classe SAF 3, as correlações observadas foram relativamente elevadas, sendo obtido $r^2=0,78$ para o índice TSAVI2 (Complexo). Destacam-se ainda as elevadas correlações observadas no grupo dos índices normalizados, com a segunda maior correlação ($r^2=0,66$) no NDVI e NRVI. Ambas as correlações foram significativas pelo teste “t” de *Student* a 1% de probabilidade de erro.

Na Figura 5.46a se observa-se uma das áreas amostrais de SAF 3, a qual está representada pela imagem do TSAVI2, onde se obtiveram valores que indicam maior densidade de cobertura vegetal, a qual é característica dessa classe agroflorestal, com recobrimento de copa superior a 60%, indivíduos superiores a 6m de altura e em torno 42MgC.ha^{-1} de estoque de carbono, conforme levantado de campo. Na Figura 5.46b, visualiza-se a composição da cobertura vegetal da área em destaque na imagem síntese, onde é possível observar indivíduos arbóreos já em fase avançada de crescimento (até 12 anos) onde é bem caracterizado pela divisão de dois estratos arbóreos e exposição de solo no interior da vegetação. Porém, apesar do relativo elevado recobrimento de copa da classe de SAF 3, o solo exposto ainda pode ter influenciado significativamente a resposta espectral dessa classe, pois o índice TSAVI 2 (complexo), proposto por Baret et al. (1989) ao adicionar fator para minimizar os efeitos do brilho de fundo do solo e o NDVI (normalizados) indicado por Rouse et al. (1973) para vegetações mais esparsas, foram os que apresentaram as maiores correlações nesta classe.

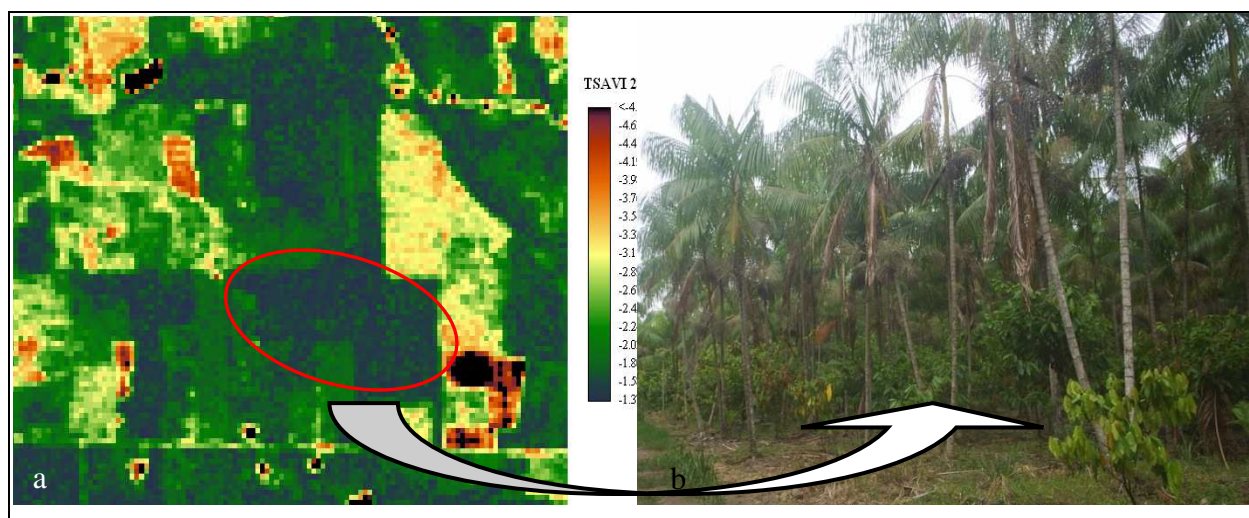


Figura 5.46. Destaque de área classificada como SAF 3, a) em imagem-síntese (TSAVI 2) e b) em campo.

Na classificação SAF 4, os índices com maior correlação estão dentro do grupo dos complexos com $r^2=0,61$ para o PVI 3 e $r^2=0,54$ para o PVI 2, significativos pelo teste “t” de *Student* a 1% de probabilidade de erro.

Na Figura 5.47a é apresentada uma área amostral de SAF 4, a qual está exemplificada na imagem-síntese do PVI 3 com valores apresentando elevada cobertura vegetal para essa classe de agrofloresta. Conforme dados de campo, esta classe possui cobertura de copa média de 80%, com indivíduos de altura superior a 7 m e com média de estoque de carbono de 120MgC.ha^{-1} . Observa-se na Figura 5.47b, a composição vegetal da área destacada na imagem-síntese, onde visualiza-se indivíduos arbóreos em fase avançada de seu estágio de desenvolvimento (idade acima de 15 anos), com estratos arbóreos bem definidos e com baixa exposição de solo. Dessa forma, as melhores correlações verificadas nos índices complexos, em especial aos PVI's, podem ser explicadas por utilizarem além da razão de bandas, parâmetros de ajuste para minimizar ainda mais o efeito da presença de solo em meio à vegetação na resposta espectral da imagem, mesmo que esta presença seja em baixa escala. Tanto o PVI 3 proposto por Qi et al. (1994) como o PVI 2 (Walther e Shabaani, 1991) foram desenvolvidos para melhorar e ajustar a influência da água da vegetação em relação ao PVI original sugerido por Perry e Lautenschlager (1984).

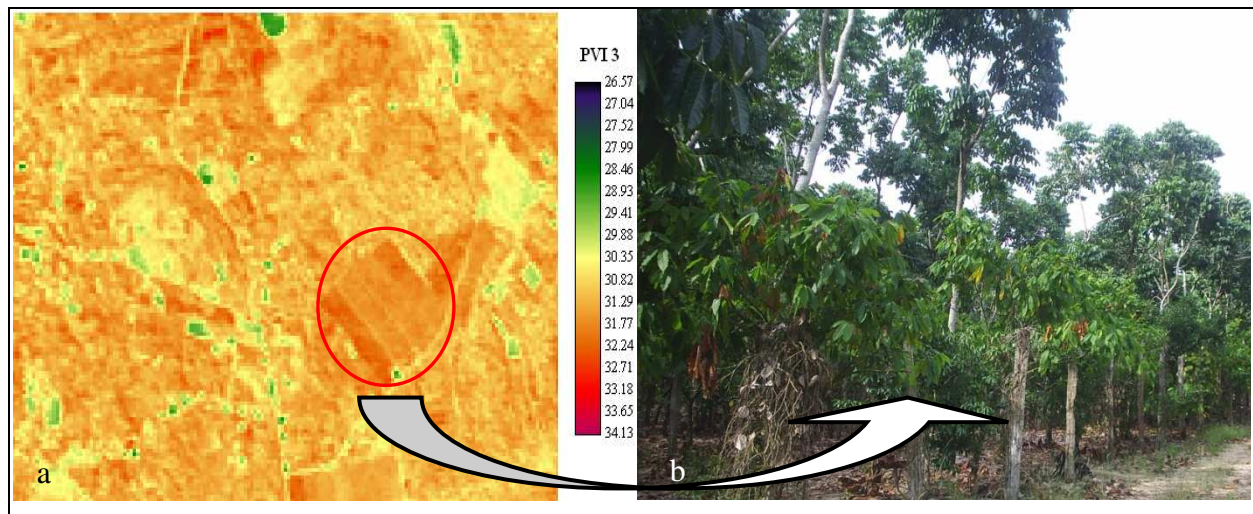


Figura 5.47. Destaque de área classificada como SAF 4, em imagem-síntese (PVI 3) (a) e em campo (b).

Da mesma forma que para a imagem de 2005, analisaram-se alguns aspectos gerais sobre os dados apresentados na Tabela 5.26 relacionados a cada classe ou grupos de índices. Inúmeros foram os índices que obtiveram correlações significativas a 1% de probabilidade de erro pelo teste *t* de Student, podendo assim, serem aplicados com sucesso para predizer o estoque de carbono na vegetação dos diferentes sistemas agroflorestais. Porém, destacam-se as condições de precipitação pluviométrica atípicas em 2008, onde o total de chuvas do ano foi 20% acima da média, e percentuais superiores entre janeiro e junho (Embrapa, 2008), podendo ter exercido influência nas condições da vegetação no mês da imagem utilizada (julho).

Os índices de razão simples, apesar das interferências atmosféricas que afetam seu valor absoluto comprometendo a interpretação dos resultados conforme destacado por Liu (2006), obtiveram correlações elevadas para as classes de agrofloresta SAF 2 ($r^2=0,70$) e SAF 3 ($r^2=0,66$), sendo uma característica indicada por Jensen (2009) ao abordar que grande parte do intervalo dinâmico dos índices de razão simples abrangem maior biomassa (como a classe de SAF 3), mas com pouca variação reservada para baixa biomassa (como a classe de SAF 1).

Os índices normalizados também se destacaram com elevadas correlações nas classes SAF 2 ($r^2=0,73$) e SAF 3 ($r^2=0,66$). Estes índices, em especial o NDVI, são amplamente citados como índices que obtêm altas correlações com fatores vegetativos, sejam agrícolas ou florestais (Ponzoni e Shimabukuro, 2007), também observadas neste estudo. A diminuição da correlação destes índices de forma linear da classe SAF 2 (menor biomassa) para a SAF 4 (maior biomassa) pode ser resultado do fato destes índices serem ampliados a favor de condições de baixa biomassa e comprimidos a favor de alta biomassa que, conforme (Jensen, 2009), indicam a saturação dos valores quando se elevam os índices de área foliar.

Já na análise dos índices denominados complexos, destaca-se o TSAVI 2 com a maior correlação ($r=0,78$) para a classe SAF 3 e, dentre o grupo dos PVI, o PVI 3 com a maior correlação para a classe de SAF 4 ($r=0,61$). Esta maior correlação dos índices complexos com as classes de agrofloresta de maior biomassa pode ser resultante da aplicação dos dados obtidos pela “linha do solo” (intercepto e coeficiente angular) no desenvolvimento destes índices de vegetação. Segundo Epiphanio e Formaggio (1990), estes índices se fundamentam no contraste espectral existente entre a vegetação e as características do solo por meio da alteração na ortogonalidade dos eixos de dispersão dos dados, sendo bastante indicados para correlações com vegetação de maior biomassa.

São apresentados na Tabela 5.29 alguns dos modelos de regressão “melhores” ajustados pelo sistema de regressão linear simples entre os dados de carbono obtido em campo e os dados espectrais obtidos por meio das imagens sínteses (imagem TM 2008), os quais podem prever o estoque de carbono na vegetação dos diferentes sistemas agroflorestais para a região de Tomé-Açu, PA.

Tabela 5.29. Modelos de “melhor” ajuste indicados para estimativa de carbono de SAF's em Tomé-Açu, PA (Imagem Landsat TM/2008).

Classe de SAF	Modelo de Regressão	r ²
SAF 1	Carbono = 29,543 – 93,352 * RS 5:3 ^b	0,54
SAF 2	Carbono = 107,415 + 161,617 * ND 5:7 ^a	0,73
SAF 3	Carbono = 168,502 + 81,618 * TSAVI 2 ^a	0,78
SAF 4	Carbono = 816,922 – 4,517 * PVI 3 ^a	0,61

^a Significativo pelo teste de t de Student em nível de 1% de probabilidade de erro.

^b Significativo pelo teste de t de Student em nível de 10% de probabilidade de erro.

r² Coeficiente de determinação.

5.3.4. Análise Conjunta dos Dados de Campo e as Variáveis Espectrais de 2005/2008

A partir dos dados obtidos sobre as correlações entre as variáveis espectrais (índices de vegetação) e variáveis biofísicas (estoque de carbono) para as duas datas de imagens analisadas, sistematizou-se esses dados na forma de matriz geográfica, conforme proposta de Berry (1964) descrita no Capítulo 4. Aparentemente, os fenômenos vegetais, como o estoque de biomassa/carbono em diferentes classes de sistemas agroflorestais, não parecem estar contemplados pela matriz. Entretanto, considerando a facilidade de representação geométrica dos mesmos em ambiente de SIG, por meio dos recursos disponíveis em base digital (pontos, polígonos, atributos, coordenadas espaciais e áreas), sua inserção e sistematização na matriz geográfica depende exclusivamente do interesse de se identificar estes pontos, polígonos e atributos de forma que representem unidades geográficas da matriz que serão correlacionadas com outras variáveis. Da mesma forma, a análise dessas unidades geográficas com diferentes variáveis, ao longo do tempo, também previstas na matriz, permitem a análise de um quadro dinâmico onde se pode reconhecer padrões possíveis de correlação. Assim, com pequena adaptação da matriz geográfica, a interpretação proposta não gera prejuízo conceitual para a matriz, mas eleva a compreensão das correlações existentes entre os índices de vegetação e o estoque de carbono nas diferentes classes agroflorestais.

Observa-se na Figura 5.48 as matrizes geográficas geradas: (a) para 2005, (b) para 2008 e (c) 2005 e 2008 conjuntamente, onde analisou-se três abordagens distintas sobre as informações:

- (I) *Horizontalidade: análise da situação, aqui foram consideradas as características espectrais, ou seja, os índices de vegetação nos diferentes grupos (razão simples, normalizados e complexos) gerados a partir das imagens de satélite.*
- (II) *Verticalidade: análise do sítio, consideradas como as características biofísicas, ou seja o estoque de carbono nos locais com o diferentes sistemas agroflorestais (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) obtidos por meio de trabalho de campo.*
- (III) *Temporalidade: análise dinâmica, considerado como a característica de resolução temporal, ou seja, as diferentes datas das imagens de satélite (2005 e 2008).*

Nas figuras 5.48a e 5.48b, verifica-se a correlação dos dados biofísicos da vegetação dos SAF e os dados espectrais das imagens de satélite em 2005 e 2008, na forma de matriz x/y, ou seja, a matriz geográfica proposta por Berry (1964) como uma possível tentativa de síntese de análise regional, estruturada por meio de colunas (estoque de carbono nas diferentes classes de SAF) e linhas (índices de vegetação dos diferentes grupos). Os cruzamentos entre as colunas e linhas constituem-se nos “fatos geográficos”, aqui representados pelos diferentes níveis de significância da correlação pelo teste *t* de Student. Berry (1964) e Retis (2007) sugerem que se pode realizar análises por meio de dez operacionalizações na matriz geográfica, as quais foram adaptadas para este estudo e estão apresentadas na Tabela 5.30 e aplicadas na Figura 5.48.

Tabela 5.30. Análises propostos na Matriz Geográfica, adaptada de Berry (1964), Retis (2007).

Operação na Matriz Geográfica	Análise
Arranjo de células em uma linha	Comportamento de um IV nas diferentes classes de SAF's
Arranjo de células em uma coluna	Resposta de uma classe de SAF nos diferentes IV's
Comparação de linhas	Covariações entre os diferentes IV's
Comparação de colunas	Diferenciação das classes de SAF's
Estudo de uma submatriz	Diferenciação de classes de SAF's por grupo de IV's, ampliada
Comparação de uma linha no tempo	Mudanças no comportamento de um IV
Comparação de uma coluna no tempo	Alteração da resposta de uma classe de SAF
Comparação de linhas no tempo	Mudanças nas associações entre diferentes IV's
Comparação de colunas no tempo	Estudo de diferenciação das classes de SAF's
Estudo de uma submatriz no tempo	Processo incluindo várias análises

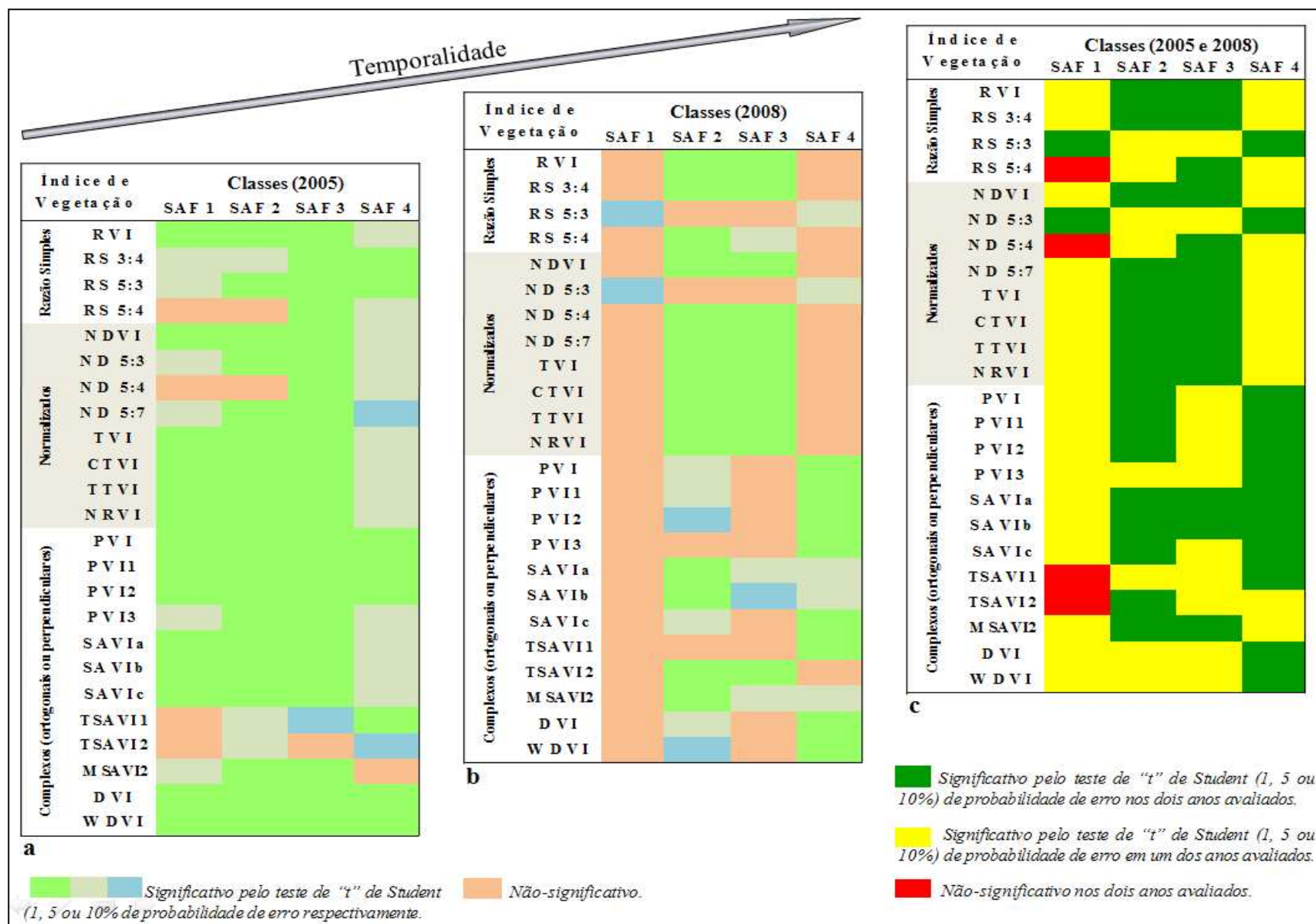


Figura 5.48. Níveis de correlações obtidas sistematizadas segundo a matriz geográfica proposta por Berry (1964).

Assim, ao analisar a matriz resultante (Figura 5.48c) das duas matrizes referente aos anos das imagens, observa-se que a leitura de uma linha representa o comportamento de determinado IV, onde verificou-se que os índices SAVIa e SAVIb obtiveram desempenho melhor, com correlações significativas para as duas imagens utilizadas em três das classes de SAF's (SAF 2, SAF 3 e SAF 4). Por outro lado, os índices RS 5:4, ND 5:4, TSAVI1 e TSAVI2 não obtiveram correlações significativas nas duas imagens (2005 e 2008) para a classe SAF 1.

Analogicamente, ao ler uma coluna, a qual significa a resposta de uma determinada classe de SAF nos diferentes IV's, observou-se que a classe de SAF 2 foi a que apresentou o maior número de correlações significativas (16 ou 66,67%) para os dois anos de imagens e a classe de SAF 1 o menor número (2 ou 8,33%).

Ao ler por submatriz, ou seja, por grupo de índices de vegetação, é possível ampliar o entendimento do comportamento dos IV's e as respostas das classes de SAF. Primeiramente, pode-se observar por agrupamento de linhas que o grupo dos normalizados apresentaram o maior percentual de correlações significativas (46,88%) para os dois anos de imagens e os de razão simples e complexos atingiram 43,75%. Se lermos por coluna, ou seja, partilharmos por estágio de desenvolvimento de SAF, verifica-se que para o estágio inicial (SAF 1) o grupo dos índices de razão simples obtiveram o maior percentual de correlações significativas nos dois anos (25%), já para o estágio médio de desenvolvimento (SAF 2 e SAF 3) o grupo dos normalizados apresentaram o maior percentual (81,25%) e para o estágio mais avançado (SAF 4) o grupo dos índices complexos obtiveram o maior percentual (83,33%).

Dessa forma, este arcabouço teórico-metodológico subsidiou a melhor compreensão dos resultados obtidos nos procedimentos de análises de regressão entre as variáveis espectrais (índices de vegetação) e características biofísicas (estoque de carbono) das diferentes classes de SAF, possibilitando análises gerais e agrupadas por grupo de índices ou por classe agroflorestal. Baseado nas análises dessas correlações (variáveis espectrais e características biofísicas) é possível gerar mapas de estoque de carbono, fornecendo uma visão detalhada da heterogeneidade estrutural das áreas agroflorestais da área de estudo, as quais serão apresentados no próximo capítulo.

6. ESPACIALIZAÇÃO DO CARBONO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS GERADOS

6.1. Espacialização e Geração de Mapas de Carbono para a Região de Estudo

Os modelos gerados (Tabela 6.1) foram utilizados para espacializar os valores de carbono existente na biomassa epígea (MgC.ha^{-1}) para a área de estudo e para cada classe agroflorestal (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4). O processo de espacialização foi realizado por meio de rotina de operações matemáticas específica (*Escalar*) em ambiente SIG. Assim, as imagens (Figura 6.1 a 6.10) resultantes - mapas de carbono - representam o atributo carbono dentro dos lotes dos associados à CAMTA para o anos de 2005 e 2008.

Tabela 6.1. Modelos indicados para estimativa de carbono de SAF's em Tomé-Açu, PA (Imagem Landsat TM/2005-2008).

Classe de SAF	Ano	Modelo de Regressão	r^2
SAF 1	2005	Carbono = $-15,368 + 81,976 * \text{NDVI}$	0,84
	2008	Carbono = $29,543 - 93,352 * \text{RS } 5:3$	0,54
SAF 2	2005	Carbono = $41,527 - 55,370 * \text{RVI}$	0,80
	2008	Carbono = $107,415 + 161,617 * \text{ND } 5:7$	0,73
SAF 3	2005	Carbono = $-34,349 + 134,145 * \text{NDVI}$	0,63
	2008	Carbono = $168,502 + 81,618 * \text{TSAVI } 2$	0,78
SAF 4	2005	Carbono = $-59,502 + 6,2956 * \text{TSAVI } 1$	0,59
	2008	Carbono = $816,922 - 4,517 * \text{PVI } 3$	0,61

r^2 Coeficiente de determinação.

Considerando que todos os dados e informações coletadas estão armazenados em banco de dados geográficos é possível registrar novas informações, recuperar e analisar as informações quanto à posição geográfica e distribuição espacial, conforme necessidades de planejamento físico-rural.

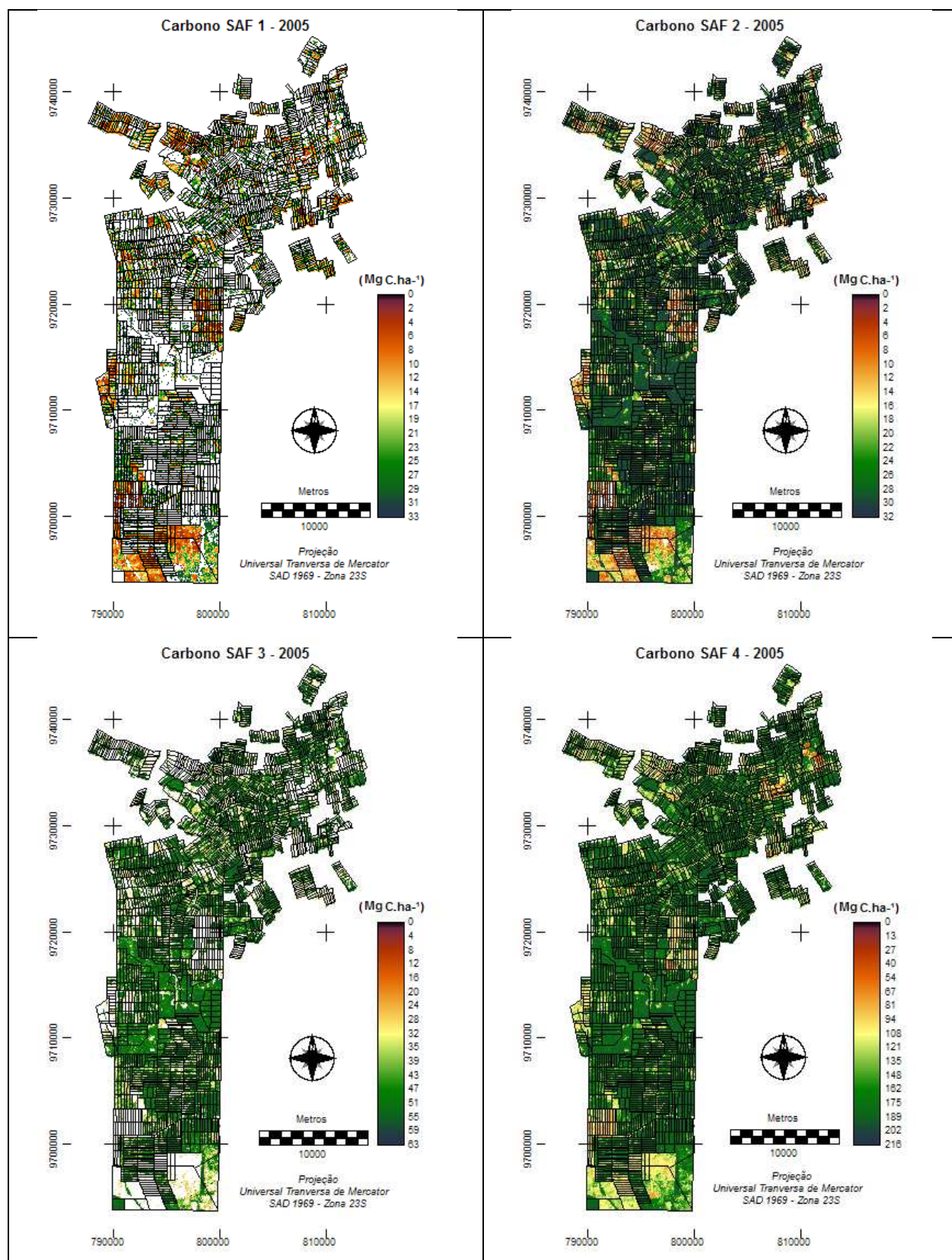


Figura 6.1. Espacialização da estimativa do estoque de carbono nas diferentes classes agroflorestais (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) a partir dos modelos gerados (2005).

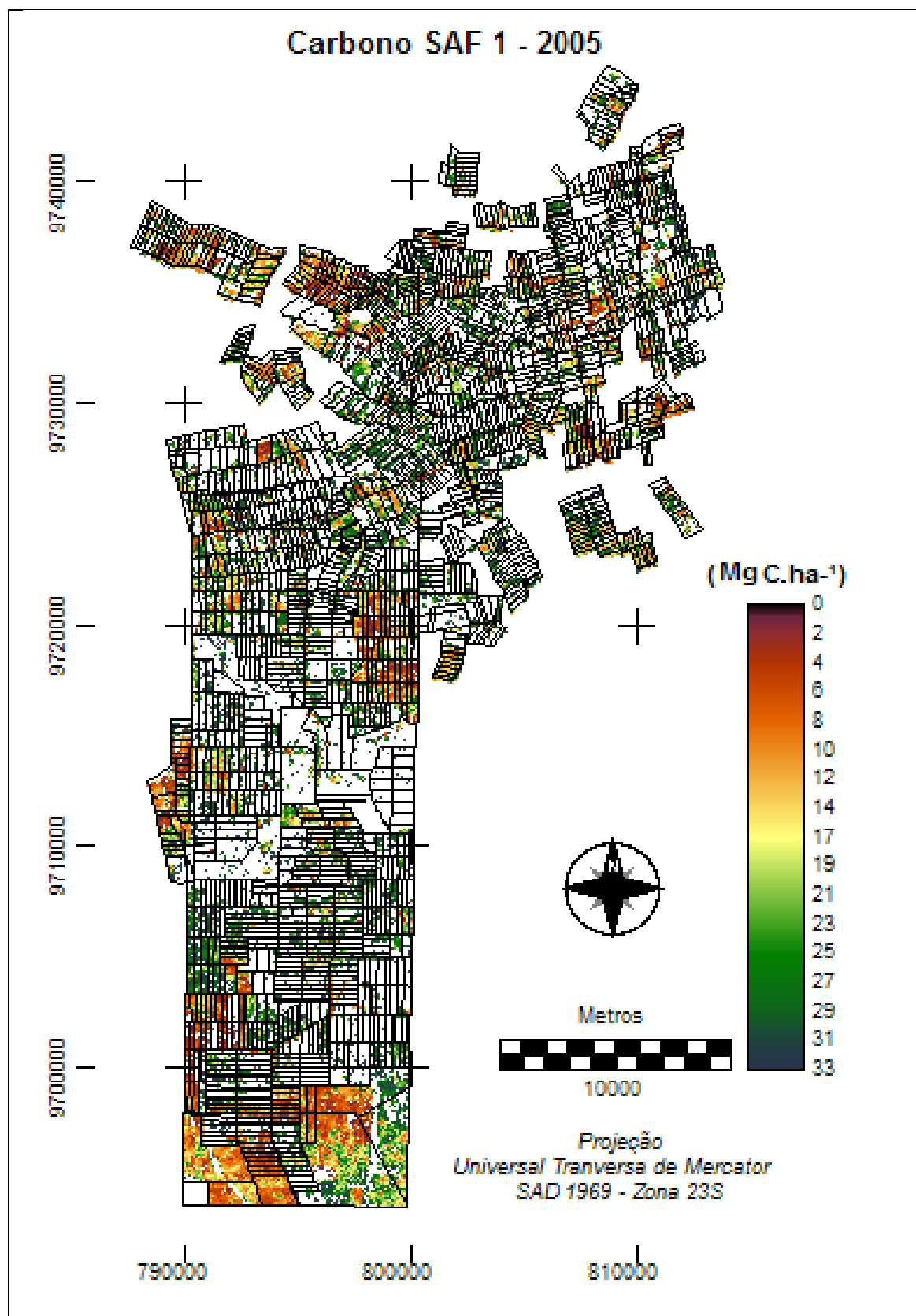


Figura 6.2. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 1 - 2005.

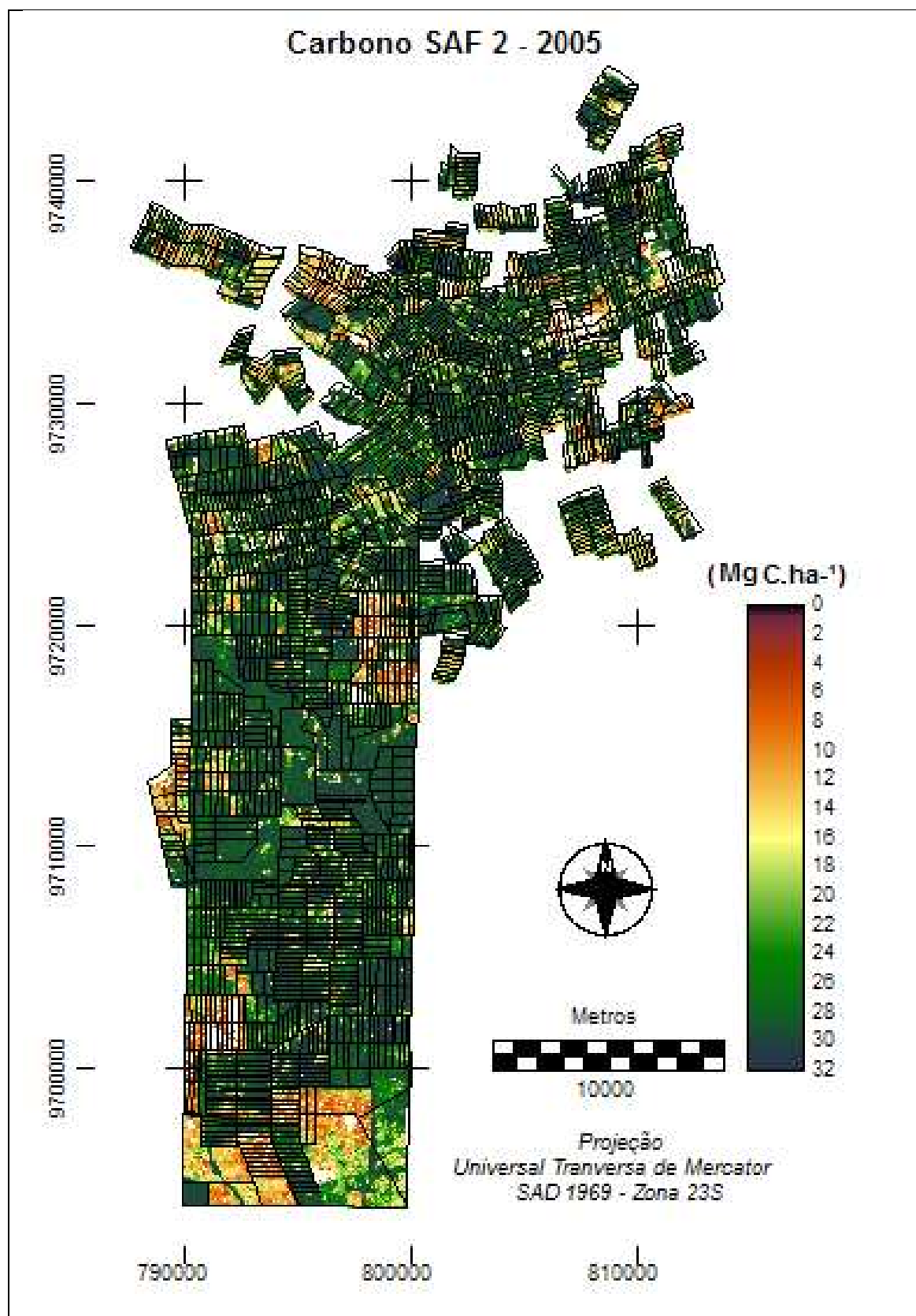


Figura 6.3. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 1 - 2005.

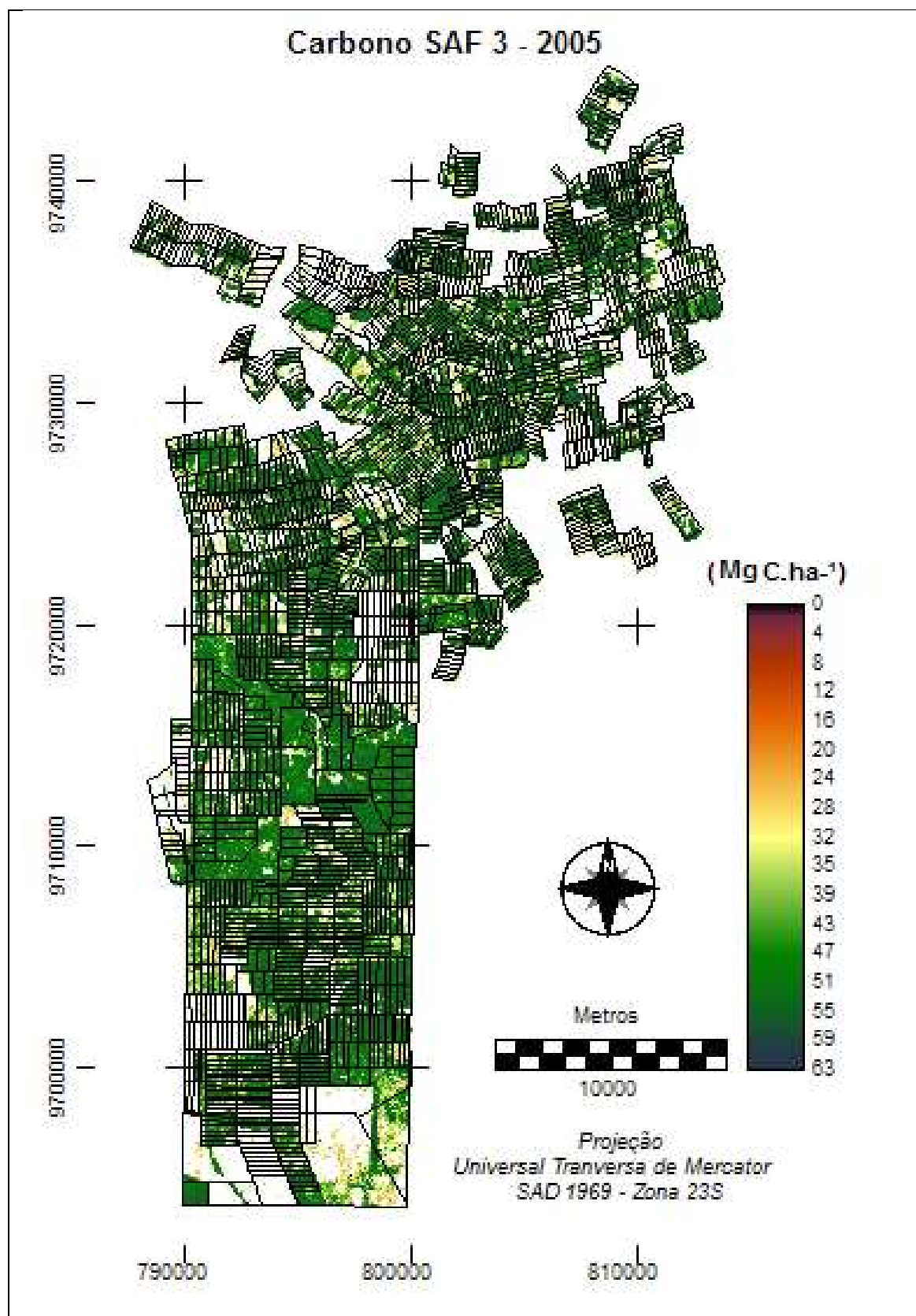


Figura 6.4. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 3 - 2005.

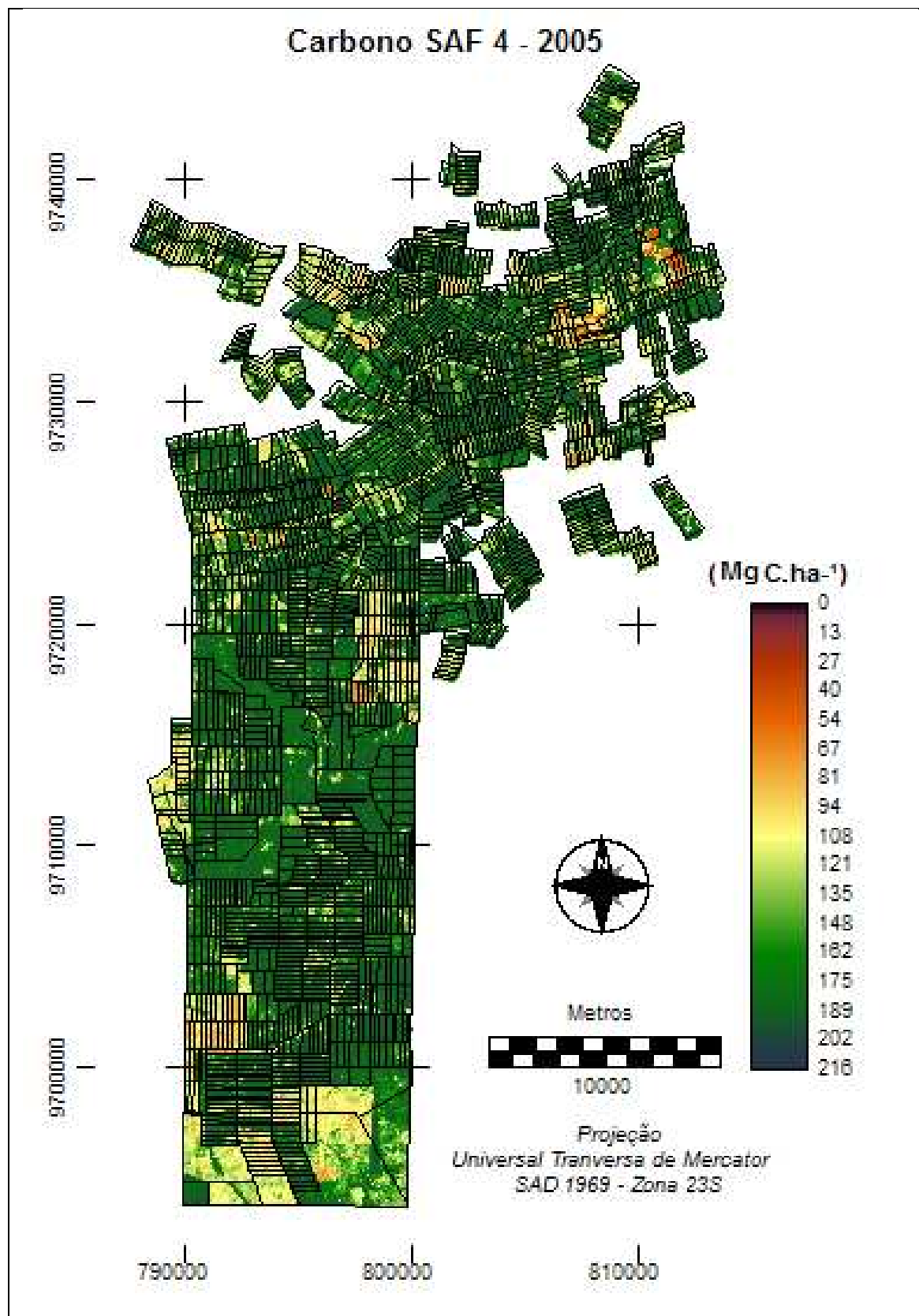


Figura 6.5. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 4 - 2005.

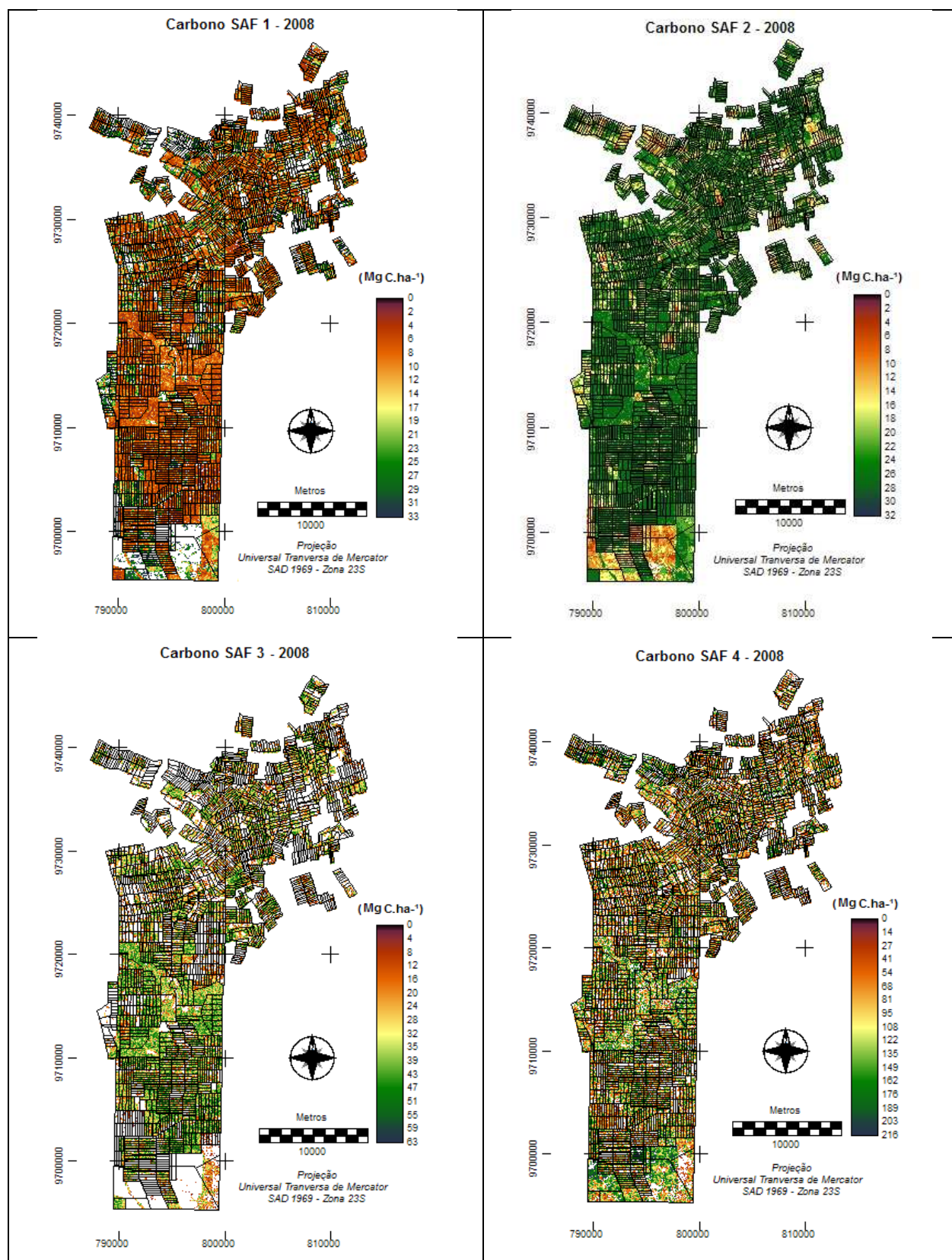


Figura 6.6. Espacialização da estimativa do estoque de carbono nas diferentes classes agroflorestais (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) a partir dos modelos gerados (2008).

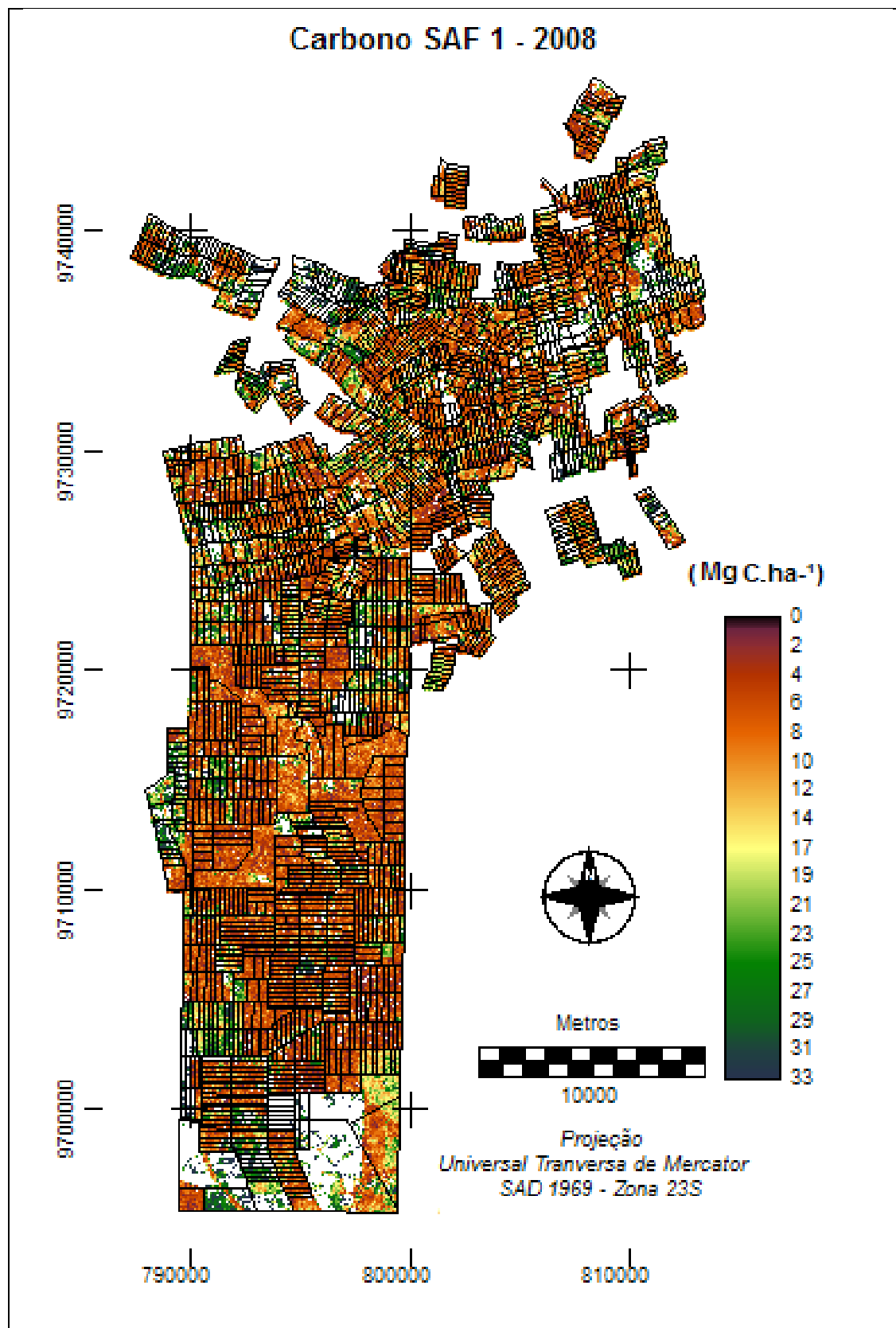


Figura 6.7. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 2 - 2008.

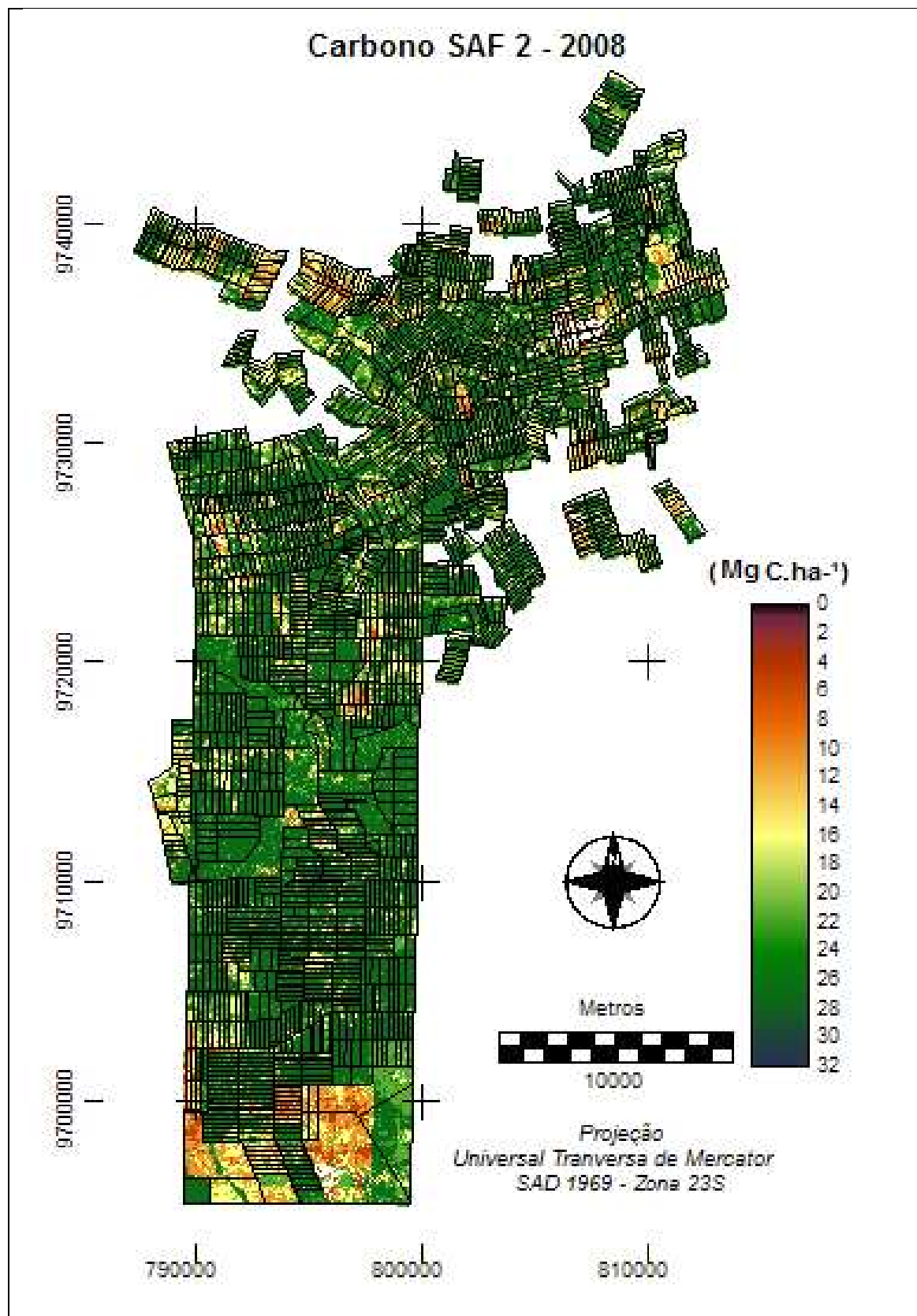


Figura 6.8. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 2 - 2008.

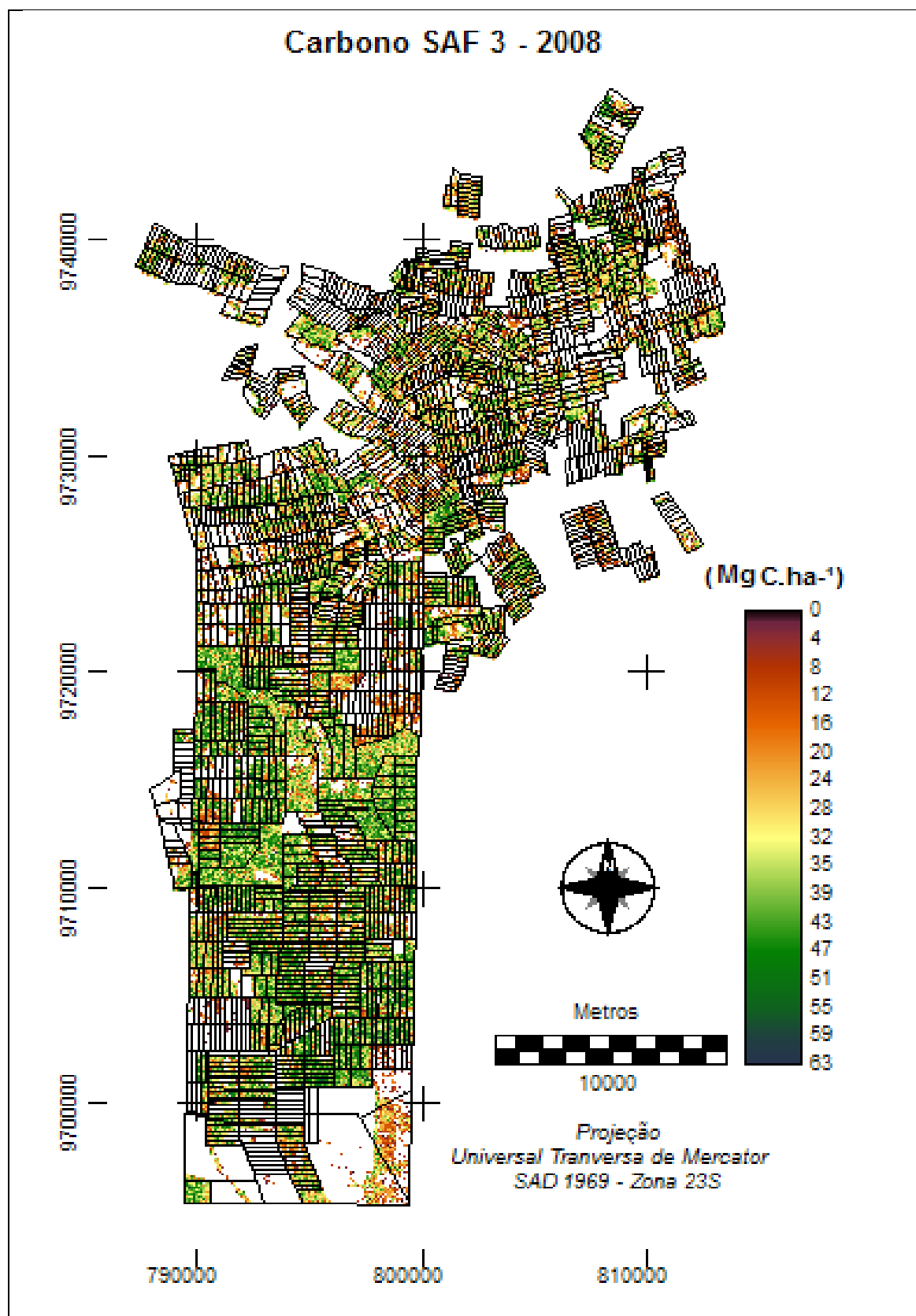


Figura 6.9. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 3 - 2008.

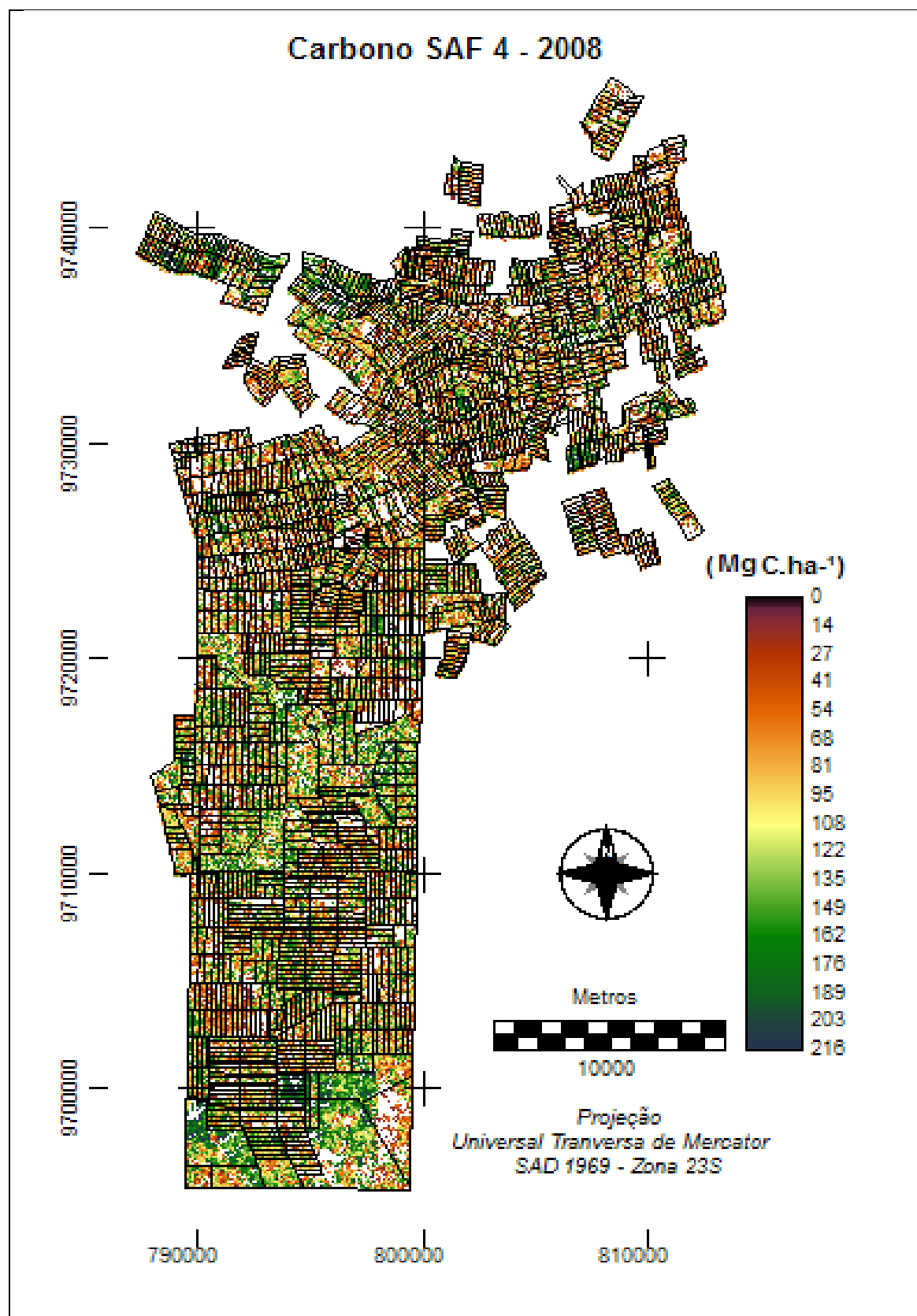


Figura 6.10. Espacialização da estimativa do estoque de carbono na classe SAF 4 - 2008.

6.2. Avaliação dos Resultados e Validação dos Modelos Gerados para a Região de Estudo

Nesta etapa, avaliou-se a precisão dos mapas de carbono obtidos por meio dos modelos de carbono gerados para região de estudo. Conforme Story e Congalton (1986), a maneira mais comum para expressar a precisão, tanto de imagens quanto de mapas, está na declaração da porcentagem da área do mapa que foi corretamente classificada quando comparada com dados de referência ou "verdade de campo", denominada Exatidão Global (EG). Porém, Gong e Howarth (1990) utilizaram o índice Kappa (K) como uma medida de precisão importante a ser associada à matriz de erro, também denominada de matriz de confusão ou tabela de contingência, por representá-la inteiramente, isto é, considerando todos os elementos da matriz e não apenas aqueles que se situam na diagonal principal, como acontece com o índice de Exatidão Global. Já Foody (1992) ressaltou que o grau de concordância por chance poderia ser superestimado, pelo fato de incluir também a concordância real, e que por conta disso a magnitude de Kappa não refletiria a concordância presente na classificação, apenas descontada a casualidade. Tal fato gerou outro índice de precisão, definido por Ma e Redmond (1995) como índice Tau (T).

Dessa forma, decidiu-se avaliar estes três índices por meio das matrizes de erros de 2005 (Tabela 6.2) e 2008 (Tabela 6.3), considerando-se como pontos de concordância, aqueles pontos cujos valores observados nos mapas de carbono apresentaram-se entre os valores mínimos e máximos observados na estimativa de carbono a partir do inventário de campo para cada classe agroflorestal.

Tabela 6.2. Matriz de erros dos modelos de estimativa de carbono para as classes agroflorestais (2005).

Pontos de Controle	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	Σ_{x+i}
SAF 1	11	1	0	0	12
SAF 2	1	17	0	0	18
SAF 3	0	0	21	0	21
SAF 4	0	0	2	13	15
Σ_{x+i}	12	18	23	15	59

Tabela 6.3. Matriz de erros dos modelos de estimativa de carbono para as classes agroflorestais (2008).

Pontos de Controle	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	Σ_{x+i}
SAF 1	16	2	0	0	18
SAF 2	1	11	0	0	12
SAF 3	0	0	9	0	9
SAF 4	0	0	1	14	15
Σ_{x+i}	17	13	10	14	50

Na Tabela 6.4 e Figura 6.3 estão apresentados os valores obtidos nos diferentes índices de acurácia. A Exatidão Global, expressa pela razão entre os pontos corretamente classificados e o total de pontos de referência, calculado em 93,93% (2005) e 92,59% (2008) está acima do patamar estabelecido por Jensen (1986) de 85%. O valor do coeficiente Kappa (93,54% para 2005) e (91,94% para 2008) menor do que a Exatidão Global, justifica-se pelo fato do índice Kappa considerar todas as células da matriz de erros, o mesmo ocorrendo com o índice Tau, com valor de 91,90% (2005) e 90,12% (2008).

Tabela 6.4. Índices de acurácia para os mapas de carbono (2005) e (2008).

Índice de Acurácia (%)	Ano do Mapa Analisado	
	2005	2008
Exatidão Global	93,93	92,59
Kappa	93,54	91,94
Tau	91,90	90,12

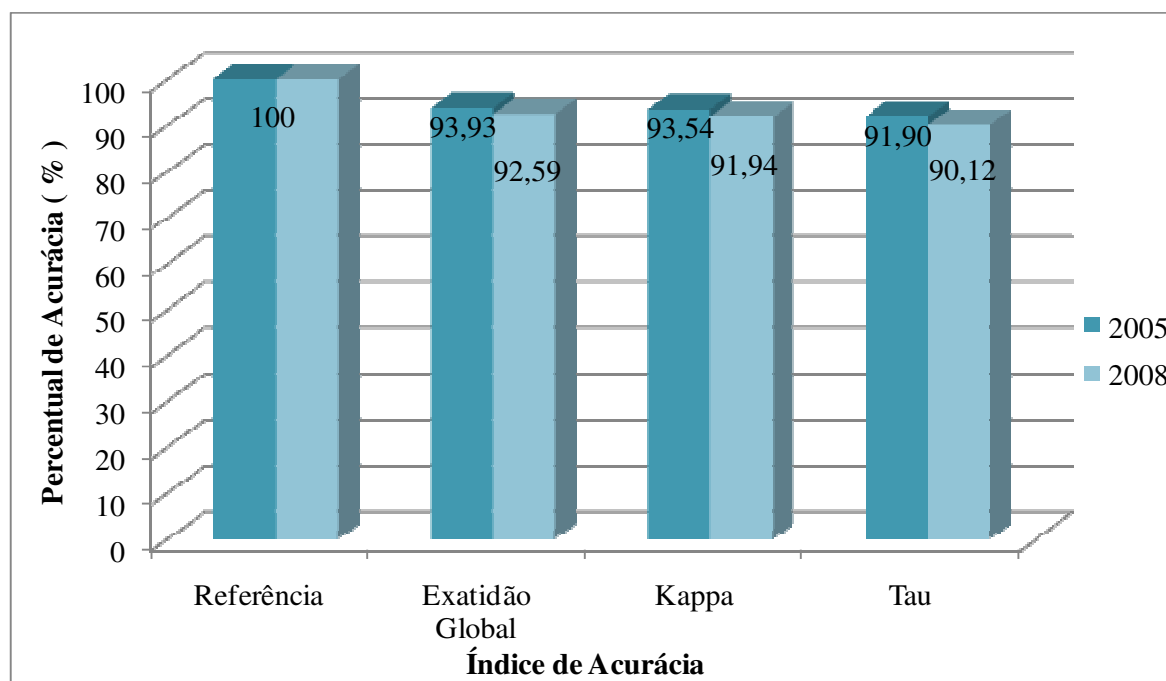


Figura 6.11. Índices de acurácia para os mapas de carbono (2005) e (2008).

De certa forma, era previsível a observação de valores de acurácia em patamares elevados, pois o modelo gerado baseou-se nos dados de campo, ou seja, os valores tomados nos mapas de carbono representam os dados de campo. Porém, esta análise apresenta a distribuição percentual dos pontos amostrais gerados corretamente e erroneamente, permitindo possíveis ajustes dos modelos das diferentes classes agroflorestais, fornecendo ainda os parâmetros de exatidão geral do trabalho e permitindo a identificação de possíveis erros específicos do processo de modelagem espacial de carbono na área de estudo.

Observa-se na tendência da distribuição dos erros ou confusões nos modelos gerados para as diferentes classes de SAF que as maiores confusões ocorreram em 2005 quando amostrada a classe SAF 4, onde foram observados valores de dois pontos dentro do patamar de SAF 3, e em 2008 a classe SAF 1 com valores de SAF 2. Provavelmente isso foi ocasionado pelos menores coeficientes de determinação desses modelos ($r^2 = 0,59$) para SAF 4 em 2005 e ($r^2 = 0,54$) para SAF 1 em 2008.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças no uso e cobertura da terra têm alterado significativamente os estoques naturais de carbono na região amazônica. Nas diretrizes do Protocolo de Kyoto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo possibilita a remuneração por serviços ambientais, como a fixação de carbono na biomassa visando minimizar o efeito dessas mudanças. O relatório do IPCC publicado em 2007 destaca os sistemas agroflorestais como potenciais geradores de serviços ambientais. Porém, são inúmeras as dificuldades encontradas para gerar metodologias para a quantificação do carbono nos sistemas produtivos.

Assim, estudos internacionais buscam estimar o carbono fixado por SAF's via métodos diretos que dependem de etapas laboriosas e onerosas e com resultados de baixa expressão geopolítica. Já as pesquisas com quantificação indireta baseadas em imagens orbitais estão em fase inicial, constituindo-se por isto, em um desafio técnico-científico – a partir do qual esta Tese se desenvolveu, tendo como cenário algumas agroflorestas situadas na região amazônica.

Dentre tantas dicotomias observadas nesta pesquisa, a mais aparente trata das discussões sobre temas sobre a relação sociedade e natureza na região amazônica, congregando abordagens sobre o consórcio entre uso e ocupação do solo e biodiversidade e, outras, que pregam a preservação total dos recursos naturais.

Uma das grandes alegrias foi a identificação de diversos estudos sobre temas referentes aos habitantes da região de Tomé-Açu (PA), isto é, do agricultor nipo-brasileiro, que supera impedimentos climáticos e culturais e, culmina nos sistemas agroflorestais - uma organização espacial que permite a convivência mais harmoniosa entre a produção rural e a floresta.

Dentre as dificuldades encontradas para a execução deste trabalho, destacamos a dificuldade de utilizarmos imagens de maior resolução espacial (SPOT) e espectral (ASTER), por conta da grande cobertura de nuvens para as datas de imageamento analisadas.

Especificamente em relação aos resultados da pesquisa, destaca-se que os parâmetros *percentual de cobertura de copa, área basal, altura e idade de implantação média*, são coerentes aos os intervalos da classificação (SAF 1, SAF 2, SAF 3, SAF 4) propostos para os sistemas agroflorestais da região de Tomé-Açu. Além disto, tais parâmetros possibilitam a discriminação entre tais sistemas - apesar da elevada diversidade florística e baixa similaridade entre os diferentes arranjos produtivos.

Os dados obtidos pelas análises estrutural e florística nos arranjos produtivos das agroflorestas de Tomé-Açu indicam, por meio do índice de valor de importância, que as principais espécies são o cacau (*Theobroma cacao* L.), açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.).

Considerando a biodiversidade encontrada nos sistemas agroflorestais da região de estudo em relação a florestas secundárias e de terra firme, pode-se imaginar baixa diversidade florística. Porém, se considerarmos a biodiversidade dos SAF's em relação aos sistemas produtivos agropecuários em expansão, os SAF's devem ser considerados como importantes elementos na composição da matriz florestal da região.

As agroflorestas da região de Tomé-Açu são importantes acumuladores de carbono, indicando uma estratégia viável e relevante para elevar os estoques de carbono nesse sistema de produção, podendo contribuir significativamente no processo de sequestro de CO₂ e a consequente redução do efeito estufa, indicando possibilidades de sustentabilidade ambiental dentro do contexto de “carbono social”.

Considerando-se os aspectos da ecologia da paisagem, a região de Tomé-Açu se caracteriza como um mosaico de ecossistemas locais, composto por diferentes classes agroflorestais, configurando-se em um espaço de padrões heterogêneos em meio rural.

A regressão linear simples entre os índices de vegetação e o estoque de carbono da biomassa epígea das agroflorestas de Tomé-Açu, foram em sua grande maioria positivas, indicando seu potencial na predição do estoque de carbono agroflorestal. Os modelos de regressão melhores ajustados e indicados para a estimativa de carbono da biomassa epígea de SAF's em Tomé-Açu se comportaram diferenciadamente, conforme a classe de SAF e o ano analisado.

As maiores correlações foram obtidas com os índices de vegetação: NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (SAF 1 e SAF 3), *Ratio Vegetation Index* - RVI (SAF 2) e *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 1* - TSAVI 1 (SAF 4), para a imagem LANDSAT-TM/2005; e *Simple Ratio TM5/TM3* - RS 5:3 (SAF 1), *Normalized Difference TM5/TM7* - ND 5:7 (SAF 2), *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 2* - TSAVI 2 (SAF 3) e *Perpendicular Vegetation Index 3* - PVI 3 (SAF 4), para a imagem LANDSAT-TM 2008.

O arcabouço teórico-metodológico baseado na matriz geográfica de Berry (1964) auxiliou a compreensão dos resultados obtidos para cada imagem de 2005 e 2008, possibilitando análises conjuntas e gerais e, também, agrupadas por grupo de índices ou por classe agroflorestal.

Em relação à transposição para outros sistemas agroflorestais, das relações estatísticas aqui observadas, entre o estoque de carbono e os índices de vegetação, devem ser ponderados alguns fatores. Estes fatores são os seguintes: diferenças entre critérios de inclusão utilizados para selecionar os indivíduos vegetais mensurados; dimensão e número das parcelas amostrais; estimativa da biomassa a partir de equações alométricas específicas; técnicas de processamento digital das imagens e também, a defasagem entre a estação do ano na qual foi realizado o imageamento e a data do trabalho de campo.

A partir das equações de regressão entre as variáveis espectrais e as características biofísicas foram gerados mapas que possibilitaram a obtenção de uma visão sintética da distribuição espacial de estoque de carbono nos sistemas agroflorestais da região de Tomé-Açu. Tais mapas são fundamentais no planejamento do uso da terra e em processos de tomada de decisão para a Cooperativa Mista de Tomé-Açu e seus associados. Os índices de acurácia dos mapas de carbono avaliados através da matriz de erros foram elevados e confirmaram a “robustez” dos modelos gerados.

Pensando em ações futuras, sugerimos que sejam realizadas outras pesquisas abordando imagens de outros sensores remotos, outras técnicas diferenciadas de correções atmosféricas e radiométricas, e diferentes índices de vegetação, texturas e modelos de mistura espectral.

A partir das negociações do “Pós-Kyoto” prevê-se um novo acordo mundial sobre a redução dos Gases de Efeito Estufa após 2012. Vislumbramos também, um cenário futuro positivo para as pesquisas em sistemas agrícolas de mitigação do aquecimento global, no qual será cada vez mais urgente o desenvolvimento de novas metodologias para a mensuração e valoração dos serviços ambientais, principalmente aquelas relacionadas a geotecnologias.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB´SABER, A. N. **A Amazônia: do discurso à práxis**. São Paulo: EdUSP. 1996. 201p.
- ACCIOLY, L. J. de O. et al . Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 6, n. 3, 2002. p. 492-498 . doi: 10.1590/S1415-43662002000300019.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 99, n. 1, p. 15-27, 2003.
- ALMEIDA, A. W. B. de. Biologismo, Geografismo e Dualismos: notas para uma leitura crítica de esquemas interpretativos da Amazônia que dominam a vida intelectual. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. p.65-122.
- ALVES, D. S. **An analysis of the geographical patterns of deforestation in Brazilian Amazônia in the 1991-1996 period**. In: Wood, C. et al Patterns and Processes of Land Use and Forest Change in the Amazon, Gainesville, University of Florida Press.1999.
- ALVES, D. S. **O Processo de desmatamento na Amazônia**. In: Parcerias Estratégicas, n.12, Setembro 2001, p. 259-275.
- AMARAL, S.; SOARES, J. V. ALVES, D. S.; MELO, E. M. K.; ALMEIDA, S. A. S.; SILVA, O. F.; SILVEIRA, A. M. Relações entre índice de área foliar (IAF), área basal e índice de vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazônica em Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, VIII. 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. (CD-ROM).
- ANDERSON, J. R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITNER, R.E. **Sistemas de classificação do uso da terra e revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 78p.
- ASRAR, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley, 1989. 734p.
- ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E.T.; HATFIELD, J.L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n.2, p.300-306, 1984.
- BANNARI, A.; MORIN, D. R; HE, D.C. **High spatial and spectral resolution remote sensing for thé management of urban environment**. In: The firt International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition. Strasbourg, Ann Arbor, MI: ERIM, p. 247-260. 1994.

BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F.; HUETE, A.R. A Review of Vegetation Indices. **Remote Sensing Reviews**, v. 13,. n. 1-2, p. 95-120, 1995.

BAPTISTA, G. M. M. Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XI. 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1037-1044.

BARET, F., GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environmental**, v. 3, n.2, p. 161-73, 1991.

BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI of APAR estimation. In: Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS '90, 12., Vancouver, Canada. **Proceedings**, 10-14 July, 1989. p 1355-1358.

BARTELT, D.; KOCH, J.; TOURINHO, M.M. Anbau von Acai (*Euterpe oleracea*) und Kakao (*Theobroma sylvestre*) in Primärwäldern der varzeas am rio Tocantins (Brasilien/Para). **Forstarchiv**. v.71, n.6. p.250-256. 2000

BATISTELLA, M. Landscape Change and Land-Use/Land-Cover Dynamics in Rondônia, Brazilian Amazon. **Tese de Doutorado** (Ph.D). (Center for the Study of Institutions, Population and Environmental Change – CIPEC). Indiana University, Indiana. 2001. 257p.

BATISTELLA, M. **Sobrevôo na região de Tomé-Açu, PA**. 2005.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. Dimensões Humanas do Uso e Cobertura das Terras na Amazônia: uma Contribuição do LBA. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 251-259, 2005.

BECKER, B. Cenários de Curto Prazo para o Desenvolvimento da Amazônia. **Cadernos IPPUR**, Rio de Janeiro, Ano XIV, n.1, p. 53-85, Jan/Jul. 2000.

BECKER, B. K. **A Especificidade do Urbano na Amazônia: Desafios para Políticas Públicas Consequentes**. Secretaria de Coordenação dos Assuntos da Amazônia Legal/MMA. 35 p. 1998.

BECKER, B. K. **Amazônia**. São Paulo: Ática. 5ª Ed. 112 p.1997.

BECKER, B. K. **Amazônia: Geopolítica na virada do III Milênio**. Rio de Janeiro: Garamond, 2006. 168 p.

BECKER, B. K. **Síntese do processo de ocupação da Amazônia** - Lições do passado e desafio do presente. In: Causas e Dinâmica no desmatamento da Amazônia. Ministério do Meio Ambiente.- Brasília: MMA, 2001a.

BECKER, B. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? **Parcerias Estratégicas**. n. 12, p.135-159, 2001b. Disponível em: <<http://ftp.unb.br/pub/UnB/ipr/rel/parcerias/2001/3386.pdf>>. Acesso em agosto de 2007.

BERNARDES, M.S; PINTO, L.F.G; RIGHI, C.A. Interações Biofísicas em Sistemas Agroflorestais. *In*: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. p.454-476.

BERNARDES, S. Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estádios sucessionais na área de influência da Floresta de Tapajós-Estado do Pará. 1996. 94 p. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

BERRY, B. J. L. Approaches to regional analyses: a synthesis. **Annals of the Association of American Geographers**, Washington, v. 54, n.1, p. 1-11, 1964.

BERRY.B.J.L e MARBLE, D. **Spatial Analysis: A Reader in Statistical Geography**. Englewood Cliffs: Prentice Hall.N.J.1968. 290p.

BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Rev. Géograph. Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 39, n. 3, p.249-272, Toulouse, 1968.

BIE, C. A. J. M. de; LEEUWEN, J. A. van; ZUIDEMA, P. A. **The land use database: a knowledge-based software program for structured storage and retrieval of user-defined land use data sets**: user's reference manual. Version 1.04 for MS-DOS: ITC/FAO/UNEP: WAU, 1996. Disponível em: <<http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/LM/SUSLUP/Luse/Manual/chap2.pdf>>. Acesso em: out. 2007.

BITENCOURT-PEREIRA, M. D. Correlação de fitomassa foliar de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS/Landsat e por radiometria de campo. (INPE-3758-TDI/205). **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 90 p. 1986.

BM&F (BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS). **Mercado de Carbono. 2007**. Disponível em: <http://www.bmf.com.br/portal/pages/mbre/download/Carbono_100407_pt.pdf>. Acesso em: setembro de 2007.

BOLFE, E. L. **Trabalho de campo na região de Tomé-Açu, PA. 2005**.

BOLFE, E. L. **Trabalho de campo na região de Tomé-Açu, PA. 2008**.

BOLFE, E. L.; MATIAS, L. F.; FERREIRA, M. C. Sistemas de Informação Geográfica: uma abordagem contextualizada na história. **Geografia**. v. 33, n. 1, p.69-78. 2008.

BORROUGH, P. **Principles of geography information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press. 1998. 333p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. MCT (Trad.). **Protocolo e Kyoto**. Brasília, DF, 2005. 25p.

- BRIASSOULIS, H. **Analysis of Land Use Change**: Theoretical and Modeling Approaches, Livro on-line. Disponível em: <<http://www.rrl.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. RegionalResearch Institute, West Virginia University, 1999.
- BRIENZA Jr., S. Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in eastern Amazon of Brazil. **Tese de Doutorado** (Ph.D). University of Göttingen, Germany. 1999. 139p.
- BRILHANTE, M.O.; RODRIGUES, F.Q.; BRILHANTE, N.A.; PENEREIRO, F.M.; LUDEWIGS, T.; FLORES, A.L.; SOUZA, J.F. Avaliação da sustentabilidade de sistemas agroflorestais no Vale do Juruá, Estado do Acre. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4, *Anais...* Centro de Pesquisas do Cacau, Ilhéus, Bahia, p. 1-4. 2002.
- BROWER, J.E.; ZAR, J.H.; VAN ENDE, C.N. **Field and Laboratory Methods for General Ecology**. v.4 th WCB/McGraw, New York. 273p. 1998.
- BROWN, I.F; MARTINELLI, L.A.; THOMAS, W.W.; MOREIRA, M.Z.; FERREIRA, C.A.C.; VICTORIA, R.L. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: example from Rondonia Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.75, p.175-189. 1995.
- BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests**: a primer. Rome: FAO, 1997.
- BROWN, S.; IVERSON, I. R. **Biomass estimates for tropical forest**. World Resource Review. n 4. p. 366-379, 1992.
- BROWN, S.; IVERSON, I. R.; LUGO, A. E. **Land use and biomass changes of forests in Peninsular Malaysia during 1972-1982**: a GIS approach. In: Dale, V. Effects of land use change on atmospheric CO₂ concentrations: Southeast Asia as a case study. New York: Springer-Verlan, Cap. 4, p. 117-143. 1993.
- BROWN, S. **The Utility of Remote Sensing Technology in Monitoring Carbon Sequestration Agroforestry Projects**. Arlington, Virginia: Winrock, 1996. 22p.
- BUNGE, W. **Theoretical Geography**: Lund Studies in Geography. Lund: C.W.K. Gleerup, 1962. 151p.
- BUNGE, W. **Theoretical Geography**: Lund. 1. Ed., 1966. 209p.
- BURGER, A. **Agricultura Brasileira e Reforma Agrária**: Uma visão Macroeconômica. Livraria e editora Agropecuária. 1999. 74 p.
- BUZAI, G.D.; DE LA CUETARA, O.J.; BAXENDALE, C.A. El hecho geográfico como unidad de tratamiento matricial: revalorización en geoinformática y actuales perspectivas de aplicación en la investigación en geografía. In: *Anales...* 6 Encuentro de Geógrafos de América Latina. (CD-Rom). Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires. 1997.

- CALDAS, M. C. Desmatamento na Amazônia: uma análise econométrica de autocorrelação espacial combinando informações de Sensoriamento Remoto com dados primários. 2001. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP.
- CALDEIRA, M.V.W., SCHUMAKER, M.V., NETO, R.M.R, WATZLAWICK, L.F.; SANTOS, E.M. Quantificação da biomassa acima do solo de *Acácia mearnsii* De Wild., procedência Batemans Bay - Austrália. **Ciência Florestal**. v.11, n. 2, p. 79-91. 2001.
- CAMTA (Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu). **Associados da CAMTA**. 2009. Informações disponibilizadas verbalmente pela Diretoria da Cooperativa.
- CAMTA (Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu). **CAMTA e Tomé-Açu**. 2007. Disponível em: <<http://www.camta.com.br>>. Acesso em: setembro de 2007.
- CAMTA (Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu). **Mapeamentos da CAMTA**. 2005. Informações disponibilizadas em documentos analógicos pela Diretoria da Cooperativa.
- CAMTA (Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu). **Tomé-Açu: Imigração japonesa em Tomé-Açu, 1929-1999**. Tomé-Açu: CAMTA, 15p. 1999.
- CARLSON T.N. e RIPLEY D.A. On relation between NDVI, fractionvegetation cover, and leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, n.3, p.241–252. 1997.
- CARVALHO, J. E. U. de. **Utilização de espécies frutíferas em sistemas agroflorestais na Amazônia**. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; FREITAS, M. S. M.; VIANA, A. P.; JASMIN, J. M.; MARCIANO, C. R.; CARNEIRO, J. G. de A.. (Org.). Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável.. Campos de Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006, p. 169-176.
- CARVALHO. R. A Amazônia Rumo ao “Ciclo da Soja”. **Amazônia Papers**. Amigos da Terra – Programa Amazônia. Setembro de 1999. p. 8.
- CASTILHOS, D. S. B. DE; BITTENCOURT, G. A.; SILVA DA, H. B. C; BIANCHINI, V. **Principais Fatores que Afetam o Desenvolvimento dos Assentamentos de reforma Agrária no Brasil**. Convênio FAO/INCRA, Projeto UTF/BRA/036/BRA, 1998, 63 p.
- CASTRO, A.P.; FRAXE, T. DE J.P.; SANTIAGO, J.L.; MATOS, R.B.; PINTO, I.C.. Os sistemas agroflorestais como alternativa de sustentabilidade em ecossistemas de várzea no Amazonas. **Acta Amazonica**, v.39, n.2, p.279-288, 2009.
- CCX (Chicago Climate Exchange). **About CCX**. 2005. Disponível em: <<http://www.chicagoclimatex.com>>. Acesso em: setembro de 2007.
- CHORLEY, R. J. e HAGGETT, P. (Ed.). **Models in Geography**. London: Methuen, 1967.

- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blüncher, 1999. 236p.
- CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones. Rialp, 1996. 568p.
- CLEVERS, J. G. P. W. The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimation leaf area index by correcting for soil moisture. **Remote Sensing of Environment**, v.29, n.1, p.25-37, 1989.
- CLEVERS, J. G. P. W. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 53-69, 1988.
- COLE, V., CERRI, C., MINAMI, K., MOSIER, A., ROSENBERG, N., SAUERBECK, D. Agricultural Options for Mitigation of Greenhouse Gas Emissions, 1995; cap.23. p. 747 - 771. In: **Climate Change 1995**. Impacts. Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II, R.T. Watson et al. (Org.), Cambridge: Cambridge University Press, USA. 1995.
- COLWELL, J. E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 3, n. 2, p.175-183, 1974.
- COLWELL, R. N. (Ed). **Manual of Remote Sensing**. 2. ed. American Society of Photogrammetry. v.1. 1232 p. 1983.
- CONGALTON, R.; GREEN. K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. CRC/Lewis Press, Boca Raton, FL. 1999. 137 p.
- COSTA, W. M. DA. **O Estado e as Políticas Territoriais no Brasil**. Ed Contexto. 1997. 83p.
- COY, M. Rondônia: Frente Pioneira e Programa Polonoroeste. O processo de diferenciação Sócio-Econômica na Periferia e os Limites do Planejamento Público. **Homem e Natureza na Amazônia** n.95, 1987. p. 253-270.
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de sensoriamento remoto**. Campinas: Unicamp. 2002. 170 p.
- DA COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; SILVA, F. H. B. B. Mapeamento da fitomassa da caatinga do núcleo de desertificação do Seridó, pelo índice de área de planta (IAP) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), obtido com dados do sensor Landsat 7 TM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, X. 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. (CD-ROM).
- DALE, . H; O'NEILL, R . Causes and effects of Land-Use Change in Central Rondônia, Brazil. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**. 1993, v. 59, n. 6, p. 997-1005.
- DEMATTE, J. L. I. **Manejo de Solos Ácidos dos Trópicos Úmidos da Região Amazônica**. Fundação Cargill, Campinas-SP, 215 p., 1988.

DIXON, R.K. Sistemas agroflorestales y gases invernadores. **Agrofloresteria en las Américas**. v.2, n.7, p.22-27, 1995.

DONG, J.; KAUFMANN, R. K. MYNENI, R. B. TUCKER, C. J.; KAUPPI, P. E. LISKI, J., BUERMANN. W. ALEXEYEV, V. e. HUGHES, M. K. Remote sensing estimates of boreal and temperate wood biomass: carbon pools, sources, and sinks. **Remote Sensing of Environment**. n. 84, p. 393-410, 2003.

DUBOIS, J. C. L. Sistemas agroflorestais na Amazônia: avaliação dos principais avanços e dificuldades em uma trajetória de duas décadas. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. p.171-217.

EASTMAN, J. R. Idrisi for Windows. Manual do usuário. Trad. HASENACK, H.; WEBER, E. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, Brasil, 1998

EHLERS, E. **Agricultura Sustentável**: origens e perspectivas de um novo paradigma. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2.ed. 1999, 157p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) . Boletim Agrometeorológico: Tomé-Açu, PA. Nilza Araújo Pacheco, Therezinha Xavier Bastos (Org.). Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 30p.

EPIPHANIO, J. C. N. ; FORMAGGIO, A. R. . Relações Entre PVI e Diferença Normalizada e Índices de Área Foliar, Cobertura do Solo e a Densidade de Clorofila. In: V SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1990. **Anais...V SBSR**. Manaus. p. 1-8.

ESCADA, I. Histórico da Ocupação da Amazônia. **Tese** (Doutorado em Sensoriamento Remoto). 1999, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos. 1999.

FBDS (Fórum Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável). **Mudança Climáticas Globais**. 2002. Disponível em: < http://www.fbds.org.br/article.php3?id_article=2> Acesso em: setembro de 2007.

FBMC (Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas). **MDL**. Disponível em: <<http://www.forumclima.org.br/default.asp?ar=13>> Acesso em: setembro de 2007.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia.: History, Rates, and Consequences. **Conservation Biology**. v. 19, n. 3, p. 680–688, 2005.

FEARNSIDE, P.M. Amazonian deforestation and warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, v.80, p. 21-34. 1996.

FEARNSIDE, P.M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In.: Seminário Emissão e Sequestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Porto alegre. **Anais... CVRD**, Rio de Janeiro. p. 95-124. 1994.

FEARNSIDE, P.M.; LEAL FILHO, N.; FERNANDES, F.M. Rainforest Burning and the Global Budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal e formation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research**, v.98, n.D9, p.16733-26743.1993.

FEISTAUER, D.; OURIQUES, M. MONTOYA, L. J. VIEIRA, A. R. R. SOARES, A. Sequestro de carbono de um sistema agroflorestral com bracatinga (*Mimosa Scabrella* Bentham) na região metropolitana de Curitiba - PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, V. 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa, 2004. p. 175-177.

FERNANDES, E. C. M. **Agroforestry for productive and sustainable Ladsapes in the face of global change**. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; FREITAS, M. S. M.; VIANA, A. P.; JASMIN, J. M.; MARCIANO, C. R.; CARNEIRO, J. G. de A.. (Org.). *Sistemas agrofloretais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável.. Campos de Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006, p. 15-31.*

FERREIRA, L. G. SILVA, A. P.; JESUS, T. J.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO, Y. E. Monitoramento sistemático da cobertura vegetal no bioma Cerrado através dos índices de vegetação MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte, MG. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 657-664.

FERREIRA, M. C. Considerações teórico-metodológicas sobre as origens e a inserção do sistema de informação geográfica na Geografia. In: Viti, A.C. **Contribuições à história e a epistemologia da Geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2006. p.101-125.

FERREIRA, M. C. Procedimento Metodológico para Modelagem Cartográfica e Análise Regional de Epidemias de Dengue em Sistema de Informação Geográfica. 2003. 231f. **Tese** (Livre-Docência em Geografia- Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas, 2003.

FODDY, G. M.; BOYD, D. S.; CLUTER, M. E. J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**. v. 85, p. 463-474, 2003.

FOODY, G. M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**. v. 58, n. 10, p. 1459-1460, 1992.

FOODY, G. M.; PALUBINSKAS, G. LUCAS, R. M.; CURRAN, P; HONZAK, M. Identifying terrestrial carbon sinks: classification of successional stages in regenerating tropical forest from Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**. v. 55, p. 205-216, 1996.

FORMAN, R. T. T. **Land Mosaics - the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University. Press, 1995. 632 p.

- FORMAN, R. T. T.; M. GODRON. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley and Sons. 1986. 619 p.
- FRANÇA, S.; ROSA, L.M.; BERGAMASCHI, H.; NABINGER, C.; SPANENBERG, P. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfaça em função do índice de área foliar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.147-153, 1997.
- FREITAS, S. R. ; SHIMABUKURO, Y. E. Diagnosticando florestas tropicais através do sensoriamento remoto. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2007. v. 1. p. 1671-1678.
- FREITAS, S. R.; MELLO, M. C. S.; CRUZ, C. B. M. Relationships between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 218, n. 1-3, p. 353-362, 2005.
- GATES, D.M.; KEEGAN, J.H.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**. v. 4, p. 11–20, 1965.
- GLERIANI, J. M. Influência do solo de fundo e da geometria da radiação na resposta espectral da cultura do feijão. 87 p. (INPE-5632-TDI/556). **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1994.
- GODFREY, B.; BROWDER, J. O. Disarticulated Urbanization in the Brazilian Amazon. **The Geographical Review**. v. 86, n. 3, p. 441-445 , 1996.
- GOEL, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, New York, v.4, n.1, p.1-21, 1988.
- GONG, P.; HOWARTH, P. J. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 56, n. 5, p. 597-603, 1990.
- GÖTSCH, E. **Break-through in agricultura**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1996. 22p.
- GOWER, S.T.; KUCHARIK, C.J. AND J.M. NORMAN. Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems, **Remote Sensing of Environment**. v.70, n. ,p. 29–51. 1999.
- GUERASIMOV, I. Problemas Metodológicos de La Ecologización de La Ciencia Contemporánea. In: GUERASIMOV, I. **La Sociedad y el Medio Natural**. Moscou: Editorial Progreso, 1980. 57-74p.
- HAGERSTRAND, T. Aspects of the Spatial Structure of social communication and the diffusion of information. Papers, Regional Science Association, v.16, p.27-42. 1968.

HAIRIAH, K.; SITOMPULL, S.M.; NOORDWIJK, M.VAN.; PALM, C. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. In: Noordwijk, M. van.; Williams, S. and Verbist, B. (Ed.). Towards integrated natural resource management in forest margins of the humid tropics: local action and global concerns. ICRAF. ABS Lecture Note 4 A, Bogoi, 49p. 2001.

HALL, D.O., RAO, K.K. **Photosynthesis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 211p.

HARTSHORNE, R. **The Nature of Geography**. Lancaster: Association of American Geographers. 1939.

HELMUT, H.J., LAMBIN, E.F., Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **BioScience**, v. 52, n.2, p.143-50, 2002.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JR., J.A. Biomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In.: Seminário Emissão e Sequestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Porto alegre. **Anais...** CVRD, Rio de Janeiro. p.125-153. 1994.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v.28,n.2, p.153-165. 1998.

HOFFER, R. M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P. H.; DAVIS, S. M. (Eds.) **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. New York: McGraw-Hill, 1978. Cap. 5, p. 227-289.

HOLBEN, B.N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1417-1434. 1986.

HOLBEN, B.N., TUCKER, C.J. e FAN, C.J. Spectral assesment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**. v.46, n.5, p.651-656, 1980.

HOMMA, A. K. O. **Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 412 p.

HOMMA, A. K. O. Dinâmica dos sistemas agroflorestais: o caso da Colônia Agrícola de Tomé-Açu, Pará.. Revista do IESAM. **Revista Instituto de Estudo Superiores da Amazônia**, Belém, v. 2, n. 1/2, p. 57-65, 2004.

HOMMA, A. K. O. **História da Agricultura na Amazônia: da era pré-colombiana ao terceiro milênio**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 274 p.

HOMMA, A. K. O. Organização da produção e comercialização de produtos agropecuários: o caso da colônia agrícola nipo-brasileira de Tomé-Açu, Pará. In: VILCAHUAMÁN, L.J.M.; RIBASKI, J.; MACHADO, A.M.B.. (Org.). **Sistemas agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental; perspectivas, análise e tendências**. Colombo, Paraná: Embrapa Florestas, 2006, v. , p. 51-77.

HOMMA, A.K.O.; WALTER, R.T.; CARVALHO, R.A.; FERREIRA, C.A.P.; CONTO, A.J.; SANTOS, A.I.M. Dinâmica dos sistemas agroflorestais: o caso dos agricultores nipo-brasileiros em Tomé-Açu, Pará. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 1, **Anais...** Embrapa Floresta, Colombo, Paraná. p. 51-61.1994.

HOUGHTON, R. A. **Balancing the global carbon cycle with terrestrial ecosystems**. In: ZEPP, R. (Ed.). The role of non-living organic matter in the earth's carbon cycle. New York: John Wiley e Sons. 1999.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, p. 295-309, 1988.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Carta Topográfica. Brasil 1975**. Escala 1:250.000.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo 2000. 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/default.php>>. Acesso em: abril de 2007.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Agropecuário do Brasil, 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: março de 2008.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Mapa da Amazônia Legal. 2005**. Fronteira Agrícola. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas_doc3.shtm>. Acesso em: agosto de 2007.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Microrregiões do Brasil, 2008**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: março de 2008.

ICRAF (International center for research in agroforestry). **Agroforestry defined**. In: International center for research in agroforestry. 2004. Disponível em: <http://www.ciesin.org/ic/icraf>>. Acesso em: março de 2006.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**, Projeto PRODES, 2005. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/prodesdigital> Acesso em: julho de 2006.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**, Projeto PRODES, 2006. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/prodesdigital> Acesso em: agosto de 2007.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**, Projeto PRODES, 2007. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/prodesdigital> Acesso em: setembro de 2008.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**, Projeto PRODES, 2008. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/prodesdigital> Acesso em: agosto de 2009.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Monitoring of the Brazilian Amazon Forest by Satellite 2000 – 2001**. INPE: São José dos Campos, 2002. 23 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) **Climate Change. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2007.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Land Use, Land-Use Change and Forestry**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

IVERSON, I. R.; BROWN, S. PRASAD, A. MITASOVA, H.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. **Use of GIS for estimating potential and actual forest biomass for continental South and Southeast Asia: a GIS approach**. In: Dale, V. Effects of land use change on atmospheric CO₂ concentrations: Southeast Asia as a case study. New York: Springer-Verlag, 1993. Cap. 3, p. 67-116.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v.11, n. 3-4, p. 185-200, 1991.

JACKSON, R.D., PINTER, P.J., REGINATO, R.J., IDSO, S.B., **Hand-held radiometry**. U.S: Department of Agriculture. Science and Educational Administration. 1980.

JAKUBAUSKAS, M. E.; PRICE, K. P. Empirical relationships between structural and spectral factors of Yellowstone lodgepole pine forest. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 63, n. 12, p. 1375-1381, 1997.

JAPÃOBRASIL. **Centenário da Imigração Japão Brasil**. 2007. Disponível em: <http://www.japao brasil.com.br/historia_imigracao/257.php> . Acesso em: setembro de 2007.

JENSEN, J.R. **Remote Sensing of the Environment: an Earth Resource Perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000, 544p.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Trad. Epiphany, J.C.N. (Coord.). São José dos Campos, SP: Parênteses. 2009. 597p.

JORDAN, C. F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v. 50, n. 4, p. 663-. 666. 1969.

JUSTICE, C O.; VERMOTE, E., TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, P. D; HALL, D.K, SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R.B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S.W.; NEMANI, R.R; WAN, Z.; HUETE, A.R.; LEEUWEN, W.V.; WOLFE, R.E.; GIGLIO, L.; MULLER, J.P; LEWIS, P.; BARNSLEY, M. The Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS). **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.

KATO, O. R.; KATO, M. S. A.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIREDO, R. de O.; CAMARÃO, A.; SÁ, T. D. de A.; DENICH, M.; VIELHAUER, K. **Uso de agroflorestas no manejo de florestas secundárias**. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; FREITAS, M. S. M.; VIANA, A. P.; JASMIN, J. M.; MARCIANO, C. R.; CARNEIRO, J. G. de A.. (Org.). *Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável*. Campos de Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006, v. , p. 119-138.

KAUFMAN, Y.J.; TANRÉ, D. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 30, n. 2, p.261-270. 1992.

KAUTH, R.J.; THOMAS, G.S. The tasseled cap transformation: a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: SYMPOSIUM ON THE MACHINE PROCESSING OF REMOTE SENSED DATA, 1976, Purdue. **Proceedings**. Purdue: Purdue University, p.4B41-4B51. 1976.

KELLER, M.; PALACE, M.; ASNER, G. P.; PEREIRA JR, R., SILVA, J. N. M. Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. **Global Change Biology**. v.10, n.5, p.784-795. 2004.

KETTERINGS, Q.M.; COE, R.; NOORDWIJK, M. VAN.; AMBAGAU, Y.; PALM, C.A. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. **Forest Ecology and Management**. v.146: p.199-209. 2001.

KITAMURA P. C. **A Amazônia e o desenvolvimento sustentável**. Brasília. DF: EMBRAPA-SPI, 182 p. 1994.

KITAMURA, P. C.; RODRIGUES, G. S. Valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais: métodos, problemas e perspectivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, III. 2000, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. p. 115-121.

KITAMURA, P. Política ambientais para a Amazônia. In: Amazônia: desenvolvimento econômico, desenvolvimento sustentável e sustentabilidade dos recursos naturais. In: COSTA, J. M. M. (Org.) **Amazônia: desenvolvimento econômico, desenvolvimento sustentável e sustentabilidade dos recursos naturais**. Belém: UFPA-NUMA, 1995. p. 125 -162.

KLINGE, H.; ADIS, J.; WORBES, M. The vegetation of a seasonal varzea forest in the lower Solimões river, Brazilian Amazonia. **Acta Amazonica**. v.25, n.3/4, p.201-220. 1995.

KOOP, G., TONE, L. Deforestation, distribution and development. **Global Environmental Change**, 11, p. 193-202, 2001.

- KUMAR. Radiation from plants, reflection and emission: a review. Lafayette, Purdue Research Foundation. (Research Project n. 5543), 1972. 88 p.
- LAMBIN, E. F. Modeling and Monitoring land-cover change processes in tropical regions. **Progress in Physical Geography**. v. 21, n. 3, 1997, p 375-393.
- LAMBIN, E. F., BAULIES, X., BOCKSTAEL, N., FISCHER, G., KRUG, T., LEEMANS, R., MORAN, E. F., RINDFUSS, R.R., SKOLE, D., TURNER II, B.L., VOGEL, C. **Land-Use and Land-Cover Change Implementation Strategy**. IGBP Report n. 48/IHDP Report n.10, IGBP, Stockholm, 125p. 1999.
- LANDGREBE, D.A. The Quantitative Approach: Concept and Rationale. In: Swain, P. H.; Davis, S. M. (Eds.) **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. New York: McGraw-Hill, 1978. 396 p.
- LAQUES, A. E. Dynamique d'un front pionnier em Domaine Forestier tropical: le cas de Ticoporo (Piémont des Andes Venezueliennes) **Tese de Doutorado**. Université de Toulous. Toulouse, França, 1993.
- LAURANCE, W. F., COCHRANE, M. A., BERGEN, S., FEARNSIDE, P. M., DELAMÔNICA, P. , BARBER, C., DÁNGELO, S., FERNANDES, T. **The future of Brazilian Amazon. Science**, v. 291, Jan., 2001.
- LAUVER, C. L.; WHISTLER J. L.: A hierarcical classification of Landsat TM imagery to identify natural grassland areas and rare species habitat. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**. v. 59, n. 5: p.627-634, 1993.
- LENTINI, M., PEREIRA, D., CELENTANO, D., PEREIRA, R. **Fatos florestais da Amazônia**. Belém: Imazon, 2005a. 141 p.
- LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. A Expansão Madeireira na Amazônia. **Amazon**. n. 21. maio 2005b. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br>>. Acesso em: agosto de 2007.
- LI, X. A two-axis adjusted vegetation index (TWVI). **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 7, p. 1447-1448. 1994.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. 2. ed. New York: Wiley, 1987. 721p.
- LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; SANTOS, J. dos; HIGUCHI, N. Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de uma floresta secundária da região de Manaus AM, dez anos após corte raso seguido de fogo. **Acta Amazonica**.v.37,n.1, p.49-54. 2007.
- LIU, H.Q.; HUETE, A.R. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v.33, p.457– 465. 1995.

- LIU, W.T. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2006. 908p.
- LIU, W.T.; KOGAN, F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n. 5, p.1161-1179, 2002.
- LO, C.P. **Applied Remote Sensing**. London: Longman, 1986. 393p.
- LU, D.; BATISTELLA, M. ; MORAN, E. ; MAUSEL, P. Application of Spectral Mixture Analysis to Amazonian Land-use and Land-cover Classification. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 23, p. 5345-5358, 2004.
- LU, D.; BATISTELLA, M. e MORAN, E. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**. v. 71, n. 8: p.967-974, 2005.
- LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. Aplicações do sensoriamento remoto na Geografia. In: Venturi, Luis Antonio Bittar. (Org.). **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, v. 1, p. 33-54.
- LUIZÃO, F. J.; TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C. C.; TRUJILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. In: Antonio C. Gama-Rodrigues; Nairam F. Barros; Emanuela F. Gama-Rodrigues; M. S. M. Freitas. (Org.). **Sistemas Agroflorestais: Bases Científicas para o Desenvolvimento Sustentável**. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006, v. 1, p. 87-100.
- MA, Z.; REDMOND, R. L. Tau coefficient for accuracy assessment of classification of remote sensing data. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**. v. 61, n. 4, p. 435-439, 1995.
- MAGURRAN, A.E. **Ecological diversity and its measurements**. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- MAJOR, D. J. A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. **International Journal of Remote Sensing**, v. 2, n. 5, p. 727-740. 1990.
- MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. **Landsat MSS and TM postcalibration on dynamic ranges of exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures**. Lanham: EOSAT, 1986. 21 p. (Landsat Technical,1).
- MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2 ed., Great Britain: John Wiley e Sons. 210p. 1999.
- MATIAS, L. F. Por uma economia política das geotecnologias. **Geo Crítica - Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, v. 8, n.170, p. 1-16, 2004.
- MATIAS, L. F. SIG: ainda a questão de método. **Geosp**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 21-33, 2003.

MATTOS, L.; CAU, A. Efetividade do mecanismo de desenvolvimento limpo no contexto das atividades agroflorestais no Brasil: uma análise crítica. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. p.381-410.

MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. 2007. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4007.html>>. Acesso em: setembro de 2007.

MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. 2009. Última versão: 01/08/09. Disponível em: < http://www.mct.gov.br/upd_blob/0205/205755.pdf >. Acesso em: setembro de 2009.

MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia/Fundo Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável). **Emissões e remoções de dióxido de carbono por mudanças nos estoques de florestas plantadas**. Brasília: MCT/FBDS, 2002. 46p. (Relatório de referência do primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa).

MELLO, N. A. de. As Iniciativas Sociais e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 16, p. 87 - 109, 2004.

MENDES, F. A. T. Avaliação de modelos de SAFs em pequenas propriedades selecionadas no município de Tomé-Açu, Estado do Pará. In: CBSAF. V. 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa, 2004.

MENEZES, A. J. E. A. ; HOMMA ; FERREIRA ; FRAZÃO ; MATOS, G.B. Influência da colônia Nipo-Brasileira na Formação dos Sistemas Agroflorestais dos Pequenos Agricultores Familiares de Tomé-Açu, Pará. In: V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais., 2004, Curitiba - PR. **Anais...** V CBSAF, 2004. v. 1. p. 105-107.

MEYER, W. B.; TURNER, B. L. II. **Changes in land use and land cover: a global perspective**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 549 p.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil – PPG7**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/tomenota.cfm?tomenota=/port/sca/ppg7/capa/index.htmletitulo=PPG7>>. Acesso em: setembro de 2007.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**. v.61, p. 281-295, 2004.

MONTEITH, J.L., UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. London: Edward Arnold, 1990. 291p.

- MORAN, E. F. Colonization in The Transamazon and Rondônia. In: Schmink, M. e Wood, C. H. **Frontier Expantion in Amazonia**. University of Florida Press, 2 ed., 1991, 285-303 p.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicações**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2003. 307 p.
- MOREIRA, M. A.; ASSUNÇÃO, G. V. **Princípios básicos, metodologias e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura**. São Jose dos Campos: INPE, 1984. 64p.
- MUTUO, P. K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C.; VERCHOT, L. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v.71, n.1, p. 43-54, 2005.
- MYERS, N. Population, environment, and development. **Environmental Conservation**. v. 20, p. 205-216, 1993.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration). The Landsat Program. 2005. Disponível em < <http://landsat.gsfc.nasa.gov/> >. Acesso em set. de 2007.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration). The Landsat Program. 2008. Disponível em < <http://landsat.gsfc.nasa.gov/> >. Acesso em jan. de 2009.
- NAVEH, Z. E; LIEBERMAN, A.S. **Landscape ecology**. Theory and application (2 ed.). New York: Springer, 1994. 360p.
- NAVEH, Z. Some remarks on recent developments in landscape ecology as a transdisciplinary ecological and geographical science. **Landscape Ecology**, v.5, n.2, p.65-73, 1991.
- NEPSTAD, D.C., A. VERÍSSIMO, A. ALENCAR, C. NOBRE, E. LIMA, P. LEFEBVRE, P. SCHLESINGER, C. POTTER, P. MOUTINHO, E. MENDOZA, M. COCHRANE e V. BROOKS. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**. v. 398, n.6727, p. 505-508, 1999.
- NOBEL, P. S. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**. London: Academic Press, 1999. 474p.
- NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**. jul./sep. 2007, v.59, n.3, p.22-27. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br>>. Acesso em 27 ago. 2007.
- NOBRE, F.R.C. Agroforestry systems in Acre, Brazil: variability in local perspectives. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). University of Florida, Gainesville, FL, 1998. 172p.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher. 1989. 308p.

NYSTUEN, J. D. Identification of fundamental spatial concepts. In: BERRY, J. (Ed.) **Spatial Analysis: a Reader in Statistical Geography**. New Jersey: Prentice Hall. 1968.

O'BRIEN, L. **Describing Geographical Data**. In: _____. **Introducing Quantitative Geography: Measurement, Methods, and Generalised**. Routledge, London, 1992. p.9-33.

ORSI, L. Análise multitemporal do desflorestamento ocorrido na década de 90 em assentamento rural de Rondonia, a partir da associação entre dados de sensoriamento remoto e dados socioeconômicos. **Dissertação** (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/IG, Campinas, São Paulo, 2005. 133p.

OSTERROHT, M. Princípios filosóficos dos sistemas agroflorestais. **Agroecologia Hoje**. v. 3, n.15, p. 4-19, 2002.

OVERMAN, J. P. M.; WITTE, H. J. L.; SALDARRIAGA, J. G. **Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon Basin**. Journal of Tropical Ecology. n. 10, p. 207-218, 1994.

PAUL, K. I.; POLGLASE, P. J.; RICHARDS, G. P. Predicted change in soil carbon following afforestation or reforestation, and analysis of controlling factors by linking a C accounting model (CAMFor) to models of forest growth (3PG), litter decomposition (GENDEC) and soil C turnover (RothC). **Forest Ecology and Management**. v.177, p. 485-501, 2003.

PEARSON, R.L.; L. D. MILLER. **Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie**. Pawnee National Grasslands, Colorado. In: Proceedings of the Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment, October 2-6. Ann Arbor, Michigan, USA. p. 1357-1381. 1972.

PEDLOWSKI, M. A.; DALE, V. H. **Land-Use Practices in Ouro Preto do Oeste, RONDÔNIA, BRAZIL**. ORNL Technical Manuscript 3850, Oak Ridge National Laboratory. Environmental Oak Ridge, Tennessee. 1992.

PENEIREIRO, F. M. ; RODRIGUES, F.Q. ; LUDEWIGS, T. ; MENEZES-FILHO, L.C.de L. ; ALMEIDA, D.A. de ; CRONKLETON, P. ; SOUZA, A.D. de ; SOUZA, R.P. ; BRILHANTE, N.A. ; GONCALO, E.N. Avaliação da sustentabilidade de sistemas agroflorestais no leste do estado do Acre. In: III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2000, Manaus. **Anais...** III CBSAF. Manaus : Embrapa, 2000. p. 427-429.

PENEIREIRO. F. M. Fundamentos da agrofloresta sucessional. In: II Simpósio de Sistemas Agroflorestais, 2004, Aracaju, SE. **Anais...** II Simpósio de Sistemas Agroflorestais. Aracaju, SE : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003. p. 41-49.

- PENEIREIRO, F. M. Sistemas Agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais). ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, 1999. 138p.
- PEREIRA, C.P. Avaliação da biomassa acumulada em áreas de vegetação secundária "capoeira" enriquecida com árvores leguminosas, no nordeste do Estado do Pará. **Dissertação** (Mestrado). FCAP. SDI, Belém. 2001. 36p.
- PERRY, C.R.; LAUTENSCHLAGER, L.F. Functional equivalence of spectral vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.14, n.1-3, p.169-182. 1984.
- PETERSON, D.L., RUNNING, S.W. Applications in forest science and management. In. **Theory and applications of optical remote sensing**. Asrar, G. (Ed.) New York: Wiley. p.429-473. 1989.
- PEUQUET, A., MARBLE, D. **Introductory Readings in Geographical Information Systems**. U.S.A. 1990. 388 p.
- PIELOU, E.C. **Mathematical ecology**. New York: Wiley, 1977.
- PINTY, B.; VERSTRAETE, M. M. GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. **Vegetation**, v. 101, p. 15-20, 1992.
- PLUMMER, S. E.; NORTH, P. R. J.; BRIGGS, S. A. The Angular Vegetation Index: an atmospherically resistant index for the second along track scanning radiometer (ATSR-2). **Proceedings...** of the 6th Symposium on Physical Measurements and Spectral Signatures in Remote Sensing CNES, Toulouse, 717– 722. 1994.
- PONZONI, F. J. ; ZULLO JUNIOR, J.; LAMPARELLI, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais:conceituação, principais procedimentos e aplicação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 72 p.
- PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. (Org.). **Sensoriamento Remoto: refletância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p.157-199.
- PONZONI, F. J., SHIMABUKURO, Y. E. Relação entre índices de vegetação (NDVI e SAVI) e parâmetros biométricos de plantios de Eucalyptus sp.. **Revista Árvore**. v.22, n.3, p.537 - 366, 1998.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.Ed. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.
- PONZONI, F.J.; REZENDE, A. C.P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore**. v.28, n.4, p. 535-545. 2004.
- PORRO, R. **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. 825p.

- PORTO-GONÇALVES, C. W. **Amazônia, Amazônias**. 2. Ed. São Paulo: Contexto. 2001. 178p.
- PORTO-GONÇALVES, C. W. **O desafio ambiental**. Rio de Janeiro: Record. 2004. 83p.
- QI, J., KERR, Y.H., MORAN, M.S., WELTZ, M., HUETE, A.R., SOROOSHIAN, S. AND BRYANT, R. Leaf area index estimates using remotely sensed data and BRDF model in a semiarid region. **Remote Sensing of Environment**, v.73, p.18-30, 2000.
- QI, J.; CHEHBOUNI, A., HUETE A.R.; KERR, Y.H.; SOROOSHIAN, S. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing Environmental*, v.48, n.2, p.119-126, 1994.
- QUEIROZ, J.A.L.; MOCHIUTTI, S. 2000. Diversidade florestal em sistemas agroflorestais, com açaizeiro no estuário amazônico. In: CBSAF, III. 2000, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa. p.147-149.
- RETIS (Grupo Retis e Pesquisa - UFRJ). **A Base de Dados enquanto representação de uma Matriz de Informações Geográficas**. Disponível em: <<http://www.igeo.ufrj.br/gruporetis/sig>> Acesso em: setembro de 2007.
- REZENDE, D. e MERLIN S. Carbono **Social - Agregando Valores ao desenvolvimento sustentável**. In: SARMENTO, A. (Org.). São Paulo: Peirópolis; Brasília, DF: Instituto Ecológica, 145p. 2003.
- RIBEIRO, R.N. da S.; TOURINHO, M., M.; SANTANA, A. C. de. Avaliação da sustentabilidade agroambiental de unidades produtivas agroflorestais em várzeas flúvio marinhas de Cametá - Pará. **Acta Amazonica**, v.34, n.3, p. 359-374. 2004.
- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.1, n.43, p.1541-1552, 1977.
- RODRIGUES F.Q.; SILVEIRA, M. Composição florística e análise estrutural de sistemas agroflorestais no vale do Rio Acre. In: VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2006, Campo dos Goytacazes. **Anais...** VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Campo dos Goytacazes : Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. v. 1. p. 1-4.
- RODRIGUES, T.E.; SANTOS, P.L. dos; ROLIM, P.A.M.; SANTOS, E.; REGO, R.S.; SILVA, J.M.L. da; VALENTE, M.A.; GAMA, J.R.N.F. **Caracterização e classificação dos solos do Município de Tomé-Açu, Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001a. 49p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 117).
- RODRIGUES, T.E.; SANTOS, P.L. dos; VALENTE, M.A.; RÊGO, R. da S.; GAMA, J.R.N.F.; SILVA, J.M.L. da; SANTOS, E. da S.; ROLIM, P. A. M. **Zoneamento agroecológico do Município de Tomé-Açu, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001b. 81p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 118).

- ROMEIRO, A. R. **Desenvolvimento sustentável e mudança institucional: notas preliminares**. Campinas: IE-Unicamp, 1999. 26 p. (Textos para discussões nº 68 - Abr/99).
- ROMEIRO, A. R.; FILHO, S. S. Dinâmica de inovações sob restrição ambiental. In.: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A. (Org.) **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais**. Campinas: UNICAMP-IE, 1997. p. 83 - 122.
- RONDEAUX G, STEVEN M e BARET F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, n.2 , p.95-107. 1996.
- ROSHETKO, J. M.; LASCO, R. D.; ANGELES, M. S.D.Smallholder Agroforestry Systems For Carbon Storage. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**. v.12, n.2. p.219-242, 2005.
- ROUSE JW, HAAS RH, SCHELL JA, DEERING DW e HARLAN JC. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC Final Report. Greenbelt, MD: NASA. 371 p. 1974.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERT**. In: NASA Earth Resources Technology Satellite, I Symposium Proceedings. Washington, NASA. p. 309-317, 1973.
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological spectral models. **Remote Sensing Environment**, v. 33, n. 3, p.183-192, 1990.
- RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. **Guia para a determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. 1. ed. Belém, Brasil: Consórcio Iniciativa Amazônica (IA) e Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF), 2009. 81p.
- RUSSELL, G.; JARVIS, P. G.; MONTEITH, J. L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P. G. (Ed.). **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press: 1989. p. 21-39. (Society for Experimental Biology Seminar Series, 31).
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. 96 p.
- SACHS, I. Desarrollo sustentable, bio-industrialización descentralizada y nuevas configuraciones rural-urbanas. Los casos de India y Brasil. **Pensamiento Iberoamericano**. n. 46, 1990. p. 235-256.
- SACK, R. D. A Concept of Physical Space in Geography. **Geographical Analysis**, v. 5, n. 1, p. 16-34, 1973.
- SACK, R. D. The spatial separatist theme in Geography. **Economic Geography**, v. 50, n. 1 p. 1-19, 1974.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant Physiology**. 4.ed. Belmont: Wadsworth Publ. Co., 1992. 540p.

SANTIAGO, J. L. Sistemas agroflorestais tradicionais e a sustentabilidade social das comunidades ribeirinhas do Estado do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, V. 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa, 2004. p. 96 - 104.

SANTOS, J. R. Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor “Thematic Mapper” do satélite Landsat. Curitiba: UFPR, **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. 156 f. 1988.

SANTOS, S. R. M. dos; MIRANDA, I. S.; TOURINHO, M. M. Análise florística e estrutural de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Jubá, Cametá, Pará. **Acta Amazônica**, v.34, n.2, 2004, p.251–263.

SCHAEFER, F. K. Exceptionalism in Geography: a methodological examination. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 43, n. 3, p. 226-245, 1953.

SCHEINER, R. R., ARIMA, E., VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., SOUZA JR, C. **Amazônia Sustentável**: limitantes e oportunidades para o desenvolvimento rural. Série Parcerias. Banco Mundial e Imazon, 2000.

SECTAM/PARÁ (Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Pará). **Meteorologia 2009**. Disponível em: <(http://www.para30graus.pa.gov.br/meteorologia.htm)>. Acesso em: agosto de 2009.

SELLERS, P. J. Vegetation canopy spectral reflectance and biophysical processes. In: **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley, Cap. 8, p. 297-335. 1989.

SEPOF (Secretaria Executiva de Planejamento, Orçamento e Finanças do Estado do Pará). **Estatística Municipal, Tomé-Açu**. 2007. 44p. Disponível em: <http://www.sepof.pa.gov.br/estatistica/ESTATISTICAS_MUNICIPAIS/Mesorr_Nordeste/TomeAcu/TomeAcu.pdf>. Acesso em: setembro de 2007.

SERRÃO, E. A.; TOLEDO, J. M. The Search for Sustainability in Amazonian Pastures. In: Anderson, B. A. (ed.) **Alternatives to Deforestation: Steps Toward Sustainable Use of the Amazon Rain Forest**. Columbia University Press, New York, 1990. 195-214 p.

SHANNON, C. E., e WEAVER. W. **The Mathematical Theory of Communication**. Urbana, University of Illinois Press, 117 p. 1949.

SHIMABUKURO, Y.E.; CARVALHO, V.C.; RUDORFF, B.T.F. NOAA-AVHRR data processing for the vegetation cover. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 3, p.671-677. 1997.

SILVA, E.L.S.; PONZONI, F.J. Comparação entre a refletância hemisférica de folhas e a refletância bidirecional de um dossel. **Revista Árvore**, v. 19, n. 4, p. 447-465, 1995.

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

SMITH, N.; DUBOIS, J.; CURRENT, D.; LUTZ, E.; CLEMENT, C. **Experiências agroflorestais na Amazônia Brasileira**: Restrições e Oportunidades. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília, Brasil. 146p. 1998.

SOUSA, C. L. PONZONI, F. J. Relação entre índice de área foliar, estimado através de sensoriamento remoto, e parâmetros dendométricos em floresta implantada de Pinus spp. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, IX. 1998, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 1998. (CD-ROM).

STADTLER, E. W. C. Estimativas de biomassa lenhosa, estoque e sequestro de carbono acima do solo ao longo do gradiente de inundação em uma floresta de igapó alagada por água preta na Amazônia Central. **Tese de Doutorado** (Biologia Tropical e Recursos Naturais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, Brasil. 2007. 57p.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**. v. 52, n. 3, p. 397-399, 1986.

SUI, D. Z. A Pedagogic Framework to Link GIS to the Intellectual Core of Geography. **Journal of Geography**. v. 94, n. 6, p.578-591. 1995.

SZEKIELDA, K. **Satellite monitoring of the earth**. New York: John Wiley, 1988. 326p.

THÉRY, H.. **Configurações Territoriais na Amazônia**. École Normale Supérieure, Paris, 1998.

THIAM, A. K. Geographic information systems and remote sensing methods for assessing and monitoring land degradation in the Sahel: the case of Southern Mauritania. **Tese** (Doutorado) Clark University, Worcester Massachusetts, 1997.

THIAM, A. K.; EASTMAN, J.R. **Vegetation Indices**. In: Manual do IDRISI. 2006. 54p.

THIBAU, C.E. **Produção sustentada em florestas: conceitos e tecnologias, biomassa energética, pesquisas e constatações**. CVRD, Belo Horizonte. 512p. 2000.

TOBLER, W. R. **An Experiment in the Computer Generalization of Maps**. ONR Report, Task 389-137. Michigan: University of Michigan, 1964a. 38p.

TOBLER, W. R. **Geographical Coordinate Computations, Part I**: General Considerations. ONR Report, Task 389-137. Michigan: University of Michigan, 1964b. 34p.

TOMÉ-AÇU (Prefeitura Municipal de Tomé-Açu). **História de Tomé-Açu. 2007**. Disponível em: <<http://www.pmtomeacu.com.br>>. Acesso em: setembro de 2007.

TROLL, C. Landscape ecology and biogeocenology – a terminological study. **Geoforum**, v. 8, p.43-46, 1971.

TSUCHIYA, A.; HIRAOKA, M. Forest biomass and wood consumption in the lower course of the Amazon: a case study of the Urubuera Island. **Acta Amazonica**. v.29, n.1, p.79-95,1999.

TSUKAMOTO, A. A. F.; COUTO, L.; NEVES, J. C. L.; PASSOS, C. A. M.; SILVA, M. L. Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Agrossilvicultura**. v.1, n. 1, p 29 - 41, 2004.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**. v.8, n.2, p.127-150. 1979.

TURNER, B.L.II, SKOLE, S. SANDERSON, G. FISCHER, L. FRESCO AND R. LEEMANS. **Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan**. IGPB Report. No. 35 and HDP Report n. 7. 132 p. 1995.

TURNER, D.P.; COHEN, W.B.; KENNEDY, R.E.; FASSNACHT, K.S.; BRIGGS, J.M. Relationships between leaf area index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices across three temperate zone sites. **Remote Sensing of Environment**. v.70, n.1, p.52-68, 1999.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. (Eds.). **Quantitative methods in landscape ecology: an introduction**. In: Turner, M.G. e Gardner, R.H. Quantitative methods in landscape ecology. New York: Springer-Verlag, 1991.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. T. **Landscape Ecology in theory and practice pattern and process**. New York: Springer-Verlag. 402p. 2002.

U. S. Senate Minority Report. **More Than 700 International Scientists Dissent Over Man-Made Global Warming Claims**. 2009. Disponível em:<http://epw.senate.gov/public/index.cfm?FuseAction=Minority.Blogs&ContentRecord_id=2674e64f-802a-23ad-490b-bd9faf4dcd7b>. Acesso em dezembro de 2009.

UFA (Universidade Federal do Acre). **O Projeto Arboreto, Parque Zoobotânico (PZ)**. 2007. Disponível em:<<http://www.agrofloresta.net>>. Acesso em: setembro de 2007.

UNFCCC (Framework Convention on Climate Change). **Decisão 19/CP.9 - Modalidades e procedimentos para atividades de projeto de florestamento e reflorestamento no âmbito do MDL**. Milão: UNFCCC, 2003. 27p.

UNFCCC (Framework Convention on Climate Change). **Report of the conference of the parties on its third session, held at Kyoto from 1 to 11 december 1997**. Kyoto: UNFCCC, 1998.

VALERIANO, D.M. **Interações da radiação solar com a vegetação**. São José dos Campos: INPE, 1988, 36p.

- VALOIS, A. C. C. **Benefícios e estratégias de utilização sustentável da Amazônia**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 75p. 2003.
- VAN DIJK, A.; CALLIS, S.L.; DECKER, W.L. Comparison of vegetation indices derived from NOAA/AVHRR data for sahelian crop assessments. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.46, p. 23-49, 1989.
- VAZ DA SILVA, P. P. Sistemas Agroflorestais para recuperação de matas ciliares em Piracicaba, SP. 2002. 98F. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais). ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 2002.
- VEIGA, J. B. DA; TOURRAND, J. F.; QUANZ, D. A **Pecuária na Fronteira Agrícola da Amazônia**: O caso do Município de Uruará, PA, na Região da Transamazônica. Belém: Embrapa- CPATU, 1996, 61 p. (Embrapa-CPATU.Focumentos, 87).
- VIEIRA, T. A.; ROSA, L. DOS S.; VASCONCELOS, P. C. S.; SANTOS, M. M. DOS; MODESTO, R. DA S. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, v.37, n.4, p. 549-557. 2007.
- VIVAN, J. L. **Agricultura e florestas**: princípios de uma interação vital. Guaíba, RS: Agropecuária, 1998. 207 p.
- VIVAN, J. L. Diversificação e Manejo em Sistemas Agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, III. 2000, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa, 2000. p. 32-41.
- WALKER. R.T.; HOMMA, A. K. O.; SCATENA, F. N.; CONTO, A., J. D.; PEDRAZZA, C. D. R; FERREIRA, C. A., P, OLIVEIRA, P. M.; CARVALHO, R DE A. Land Cover Evolution of Small Properties: The Transamazon Highway. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, 1997, v. 35, n. 2, p.115-126.
- WALSH, M. J. Maximizing financia support for biodiversity in the everging Kyoto protocol markets. In: **The Science of the Environment**. v. 240, p. 45-56. 1999.
- WANDELLI, E. V.; FERNANDES, E.; SOUSA, S. G. A.; PERIN, R.; COSTA, J. R. Serviços ambientais e produtos de sistemas agroflorestais e da vegetação secundária no processo de recuperação de áreas degradadas na Amazônia Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, V. 2004. **Anais...** Curitiba: Embrapa, 2004. p. 172-174.
- WANDELLI, E. V.; SOUZA, M. P. S. Análise da sustentabilidade de sistemas agroflorestais do estado do Amazonas através da sua diversidade florística. In: III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, **Anais**, Manaus: EMBRAPA, 2000, p.26-28.
- WHITAKER, D. C. A. e FIAMENGUE, E. C. Ciência e Ideologia: as armadilhas do preconceito. In: WHITAKER, D. **Sociologia Rural: questões metodológicas emergentes**. Presidente Wenceslau, São Paulo: Letras à Margem, 2002, p. 19-32.

WIKIPÉDIA. **World map: Kyoto Protocol, participation (Julho 2009)**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Kyoto_Protocol_participation_map_2009.png>. Acesso em ago. de 2009.

WINROCK (International Institute for Agricultural Development). **A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects**. California: Forest Carbon Monitoring Program - California University, 1997. 87 p.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C.; FREITAS, C. C. Estimativa de IAF de plantações de eucaliptos a partir de dados TM/LANDSAT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, IX. 1998, Santos. **Anais...** Santos: INPE, 1998. (CD-ROM).

YAMADA, M. Japanese immigrant agroforestry in the Brazilian Amazon: a case study of sustainable rural development in the tropics. **Thesis** (Ph.D). Florida: University of Florida, 1999. 821p.

YAMADA, M.; GHOLZ, H. L. An evaluation of agroforestry systems as a rural development option for the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*. v. 55, n.2. p.81-87, 2002.

YAMADA, M. Uma breve história de desenvolvimento agroflorestal Nikkei na Amazônia: o caso da colônia de Tomé-Açu. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. p.691-704.

YANA, W e WEINERT, H. Técnicas de sistemas agroflorestales: multiestrato, manual práctico. Sapecho, ME: Interinstitucional Alto Beni, 2001. 56 p.

ZERBINI, N. J. Estimativa de fitomassa aérea em região de floresta tropical com uso de dados de TM-Landsat 5 e HRV-SPOT 1. 1997. 127 F. **Tese** (Doutorado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo. 1997.

ZONNEVELD, I. S. **Land Evaluation and Landscape Science**. Enschede, The. Netherlands, International Institute for Aerial Survey and earth Sciences. 1979.

ZULLO Jr., J. Correção Atmosférica de Imagens de Satélite e Aplicações. 1994. **Tese** (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Campinas - FEE, Campinas, São Paulo, 1994.

9. ANEXOS

Anexo 1. Biomassa epígea e carbono nas parcelas amostrais dos SAF's, Tomé-Açu, PA.

Parcela Amostrai	Unidade Amostrai	Coordenadas UTM (mE)	Coordenadas UTM (mN)	Classe SAF	EBE (Mg.ha ⁻¹)	EC (Mg.ha ⁻¹)	EBE (Mg.ha ⁻¹)	EC (Mg.ha ⁻¹)
1_2005	1	803651	9729360		60,56	27,25		
	2	803623	9729348	SAF 2	35,69	16,06	48,82	21,97
	3	803493	9729308	(3 anos)	50,21	22,59		
2_2005	4	801741	9724638		116,91	52,61		
	5	801710	9724740	SAF 3	138,77	62,45	108,99	49,04
	6	801645	9724856	(14 anos)	71,28	32,08		
3_2005	7	803065	9721204		404,75	182,14		
	8	803010	9721370	SAF 4	405,69	182,56	409,73	184,38
	9	802815	9721294	(15 anos)	418,76	188,44		
4_2005	10	802860	9722568		113,28	50,98		
	11	802813	9722616	SAF 3	68,17	30,68	104,17	46,88
	12	802749	9722766	(13 anos)	131,05	58,97		
5_2005	13	801670	9725482		36,37	16,37		
	14	801700	9725206	SAF 1	17,57	7,91	34,25	15,41
	15	801744	9725098	(2 anos)	48,80	21,96		
6_2005	16	802374	9724850		51,82	23,32		
	17	802500	9724884	SAF 2	51,98	23,39	53,80	24,21
	18	802458	9725094	(6 anos)	57,61	25,92		
7_2005	19	802154	9725523		128,33	57,75		
	20	802159	9725340	SAF 3	138,91	62,51	138,21	62,19
	21	802192	9725100	(16 anos)	147,38	66,32		
8_2005	22	798240	9728490		205,21	92,34		
	23	798365	9728378	SAF 4	163,77	73,70	165,01	74,26
	24	798462	9728438	(19 anos)	126,06	56,73		
9_2005	25	798572	9728278		53,72	24,17		
	26	798516	9728208	SAF 2	70,41	31,68	62,29	28,03
	27	798604	9728142	(7 anos)	62,75	28,24		
10_2005	28	798229	9728928		51,07	22,98		
	29	798298	9729068	SAF 2	62,44	28,10	65,67	29,55
	30	798416	9729122	(7 anos)	83,49	37,57		

Onde: (EBE) é a biomassa epígea em Mg.ha⁻¹ e (C) é o estoque de carbono em MgC.ha⁻¹.

Anexo 1. (Continuação).

Parcela Amostr	Unidade Amostr	Coordenadas UTM (mE)	Coordenadas UTM (mN)	Classe SAF	EBE (Mg.ha⁻¹)	EC (Mg.ha⁻¹)	EBE (Mg.ha⁻¹)	EC (Mg.ha⁻¹)
11_2005	31	798235	9729160		131,27	59,07		
	32	798074	9728946	SAF 3	112,74	50,73	112,28	50,52
	33	797938	9728768	(14 anos)	92,82	41,77		
12_2005	34	797249	9728634		82,62	37,18		
	35	797267	9728524	SAF 3	126,53	56,94	104,71	47,12
	36	797265	9728498	(13 anos)	104,99	47,25		
13_2005	37	797353	9728436		106,14	47,76		
	38	797510	9728564	SAF 4	158,81	71,46	273,89	123,25
	39	797615	9728662	(20 anos)	556,71	250,52		
14_2005	40	806689	9734208		110,36	49,66		
	41	806628	9734278	SAF 3	48,81	21,96	63,54	28,59
	42	806515	9734276	(12 anos)	31,45	14,15		
15_2005	43	794213	9708172		31,32	14,09		
	44	794365	9708162	SAF 1	27,50	12,38	33,67	15,15
	45	794480	9708126	(2 anos)	42,18	18,98		
16_2005	46	794384	9716484		61,35	27,61		
	47	794469	9716482	SAF 2	52,80	23,76	57,17	25,73
	48	794500	9716416	(3 anos)	57,35	25,81		
17_2005	49	794889	9716130		199,73	89,88		
	50	794726	9716058	SAF 4	328,82	147,97	250,55	112,75
	51	794561	9716044	(25 anos)	223,09	100,39		
18_2005	52	793815	9716756		452,08	203,44		
	53	793533	9716720	SAF 4	363,28	163,48	407,11	183,20
	54	793524	9716716	(35 anos)	405,97	182,69		
19_2005	55	793000	9717154		28,77	12,95		
	56	793100	9717232	SAF 1	17,84	8,03	21,15	9,52
	57	793180	9717120	(2 anos)	16,83	7,57		
20_2005	58	806689	9734208		12,79	5,76		
	59	806628	9734278	SAF 1	10,87	4,89	12,16	5,47
	60	806515	9734276	(3 anos)	12,81	5,76		

Onde: (EBE) é a biomassa epígea em Mg.ha⁻¹ e (C) é o estoque de carbono em MgC.ha⁻¹.

Anexo 1. (Continuação).

Parcela Amostr	Unidade Amostr	Coordenadas (mE)	UTM (mN)	Classe SAF	EBE (Mg.ha⁻¹)	EC (Mg.ha⁻¹)	EBE (Mg.ha⁻¹)	EC (Mg.ha⁻¹)
21_2005	61	802408	9730200		67,25	30,26		
	62	802293	9730194	SAF 2	54,60	24,57	59,74	26,88
	63	802220	9730160	(7 anos)	57,38	25,82		
22_2008	64	806069	9734113		0,50	0,23		
	65	806074	9734054	SAF 1	3,35	1,51	1,45	0,65
	66	806150	9734098	(1 ano)	0,50	0,23		
23_2008	67	804605	9740073		0,50	0,23		
	68	804616	9740186	SAF 1	0,50	0,23	0,82	0,37
	69	804697	9740104	(2 anos)	1,47	0,66		
24_2008	70	806090	9741748		52,56	23,65		
	71	806022	9741862	SAF 3	55,72	25,07	62,47	28,11
	72	805972	9741815	(11 anos)	79,14	35,61		
25_2008	73	806155	9741867		301,66	135,75		
	74	806186	9741914	SAF 4	150,04	67,52	224,21	100,89
	75	806188	9741809	(19 anos)	220,92	99,41		
26_2008	76	806359	9741439		47,66	21,45		
	77	806294	9741445	SAF 2	52,40	23,58	51,15	23,02
	78	806301	9741501	(7 anos)	53,39	24,03		
27_2008	79	805258	9736924		23,81	10,71		
	80	805240	9736872	SAF 2	21,69	9,76	22,00	9,90
	81	805275	9736838	(4 anos)	20,50	9,23		
28_2008	82	804715	9735924		89,09	40,09		
	83	804745	9735959	SAF 4	124,39	55,98	105,02	47,26
	84	804831	9735911	(20 anos)	101,59	45,72		
29_2008	85	815200	9734369		493,80	222,21		
	86	815050	9764451	SAF 4	388,68	174,91	480,05	216,02
	87	814987	9734538	(31 anos)	557,66	250,95		
30_2008	88	815370	9734515		67,64	30,44		
	89	815418	9754524	SAF 2	60,85	27,38	68,78	30,95
	90	815448	9734522	(7 anos)	77,86	35,04		

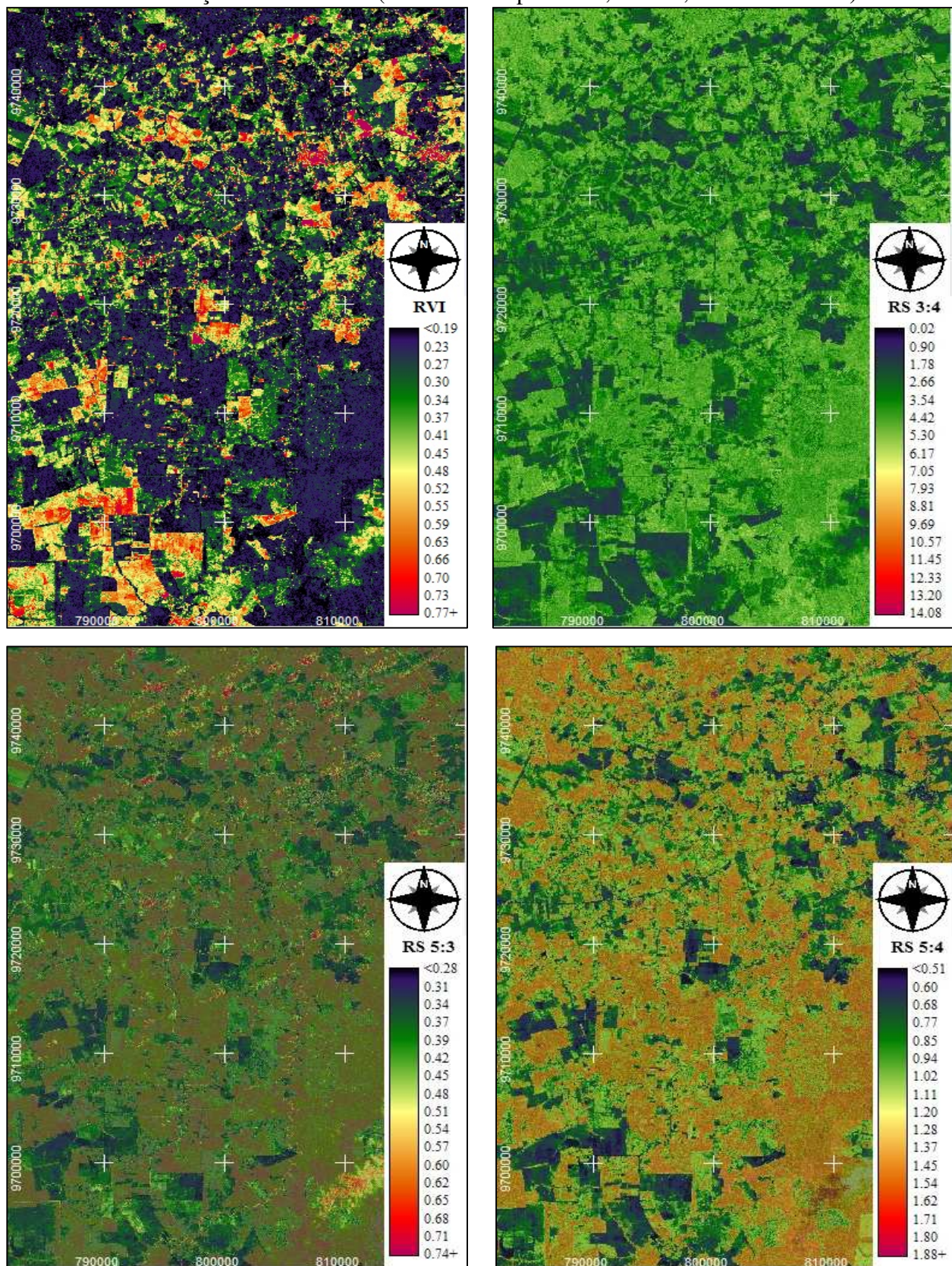
Onde: (EBE) é a biomassa epígea em Mg.ha⁻¹ e (C) é o estoque de carbono em MgC.ha⁻¹.

Anexo 1. (Continuação).

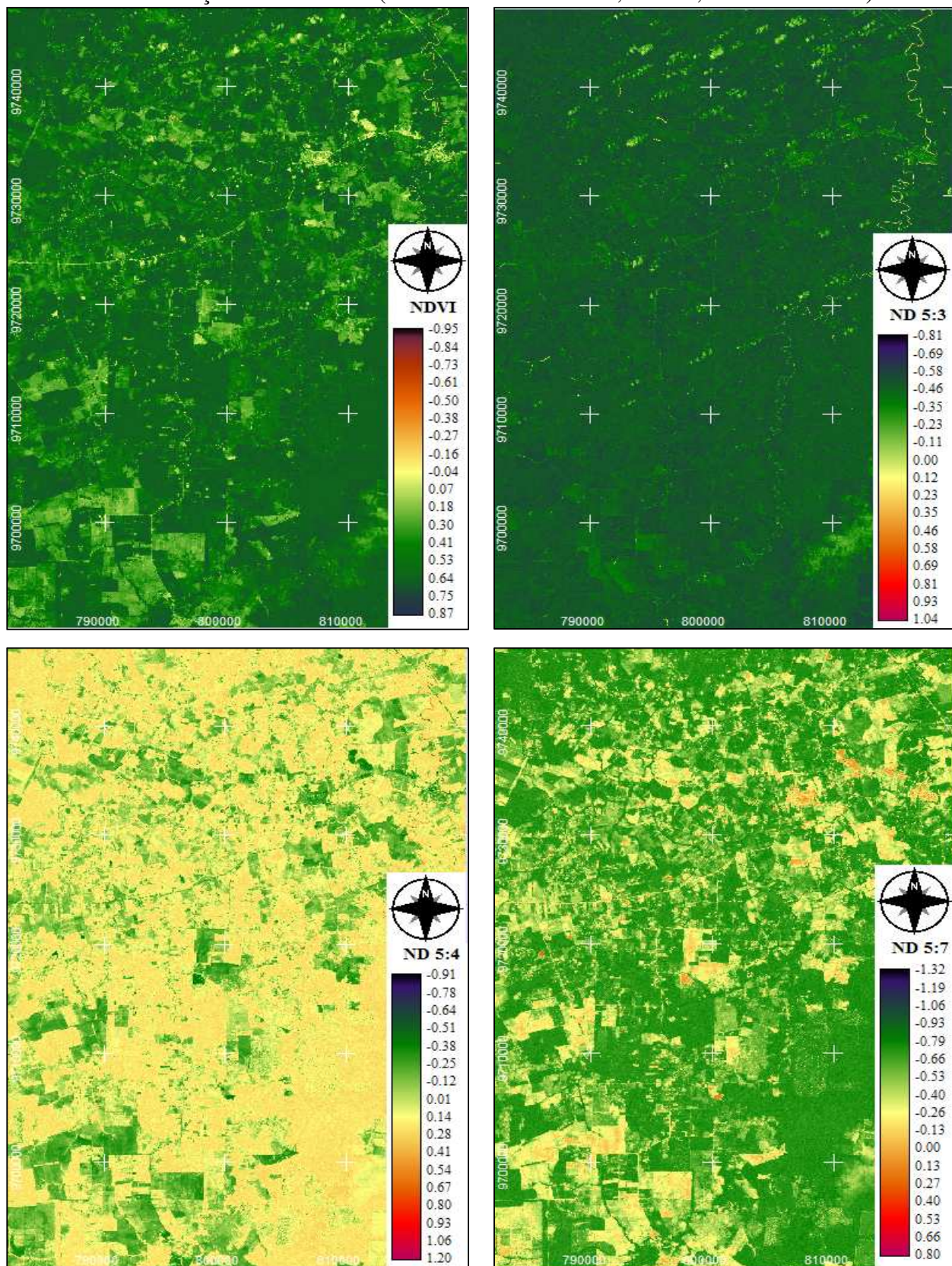
Parcela Amostr	Unidade Amostr	Coordenadas UTM (mE)	Coordenadas UTM (mN)	Classe SAF	EBE (Mg.ha⁻¹)	EC (Mg.ha⁻¹)	EBE (Mg.ha⁻¹)	EC (Mg.ha⁻¹)
31_2008	91	816415	9735389		81,28	36,58		
	92	816525	9735396	SAF 4	94,50	42,53	94,51	42,53
	93	816459	9735498	(26 anos)	107,76	48,49		
32_2008	94	791478	9722378		98,06	44,13		
	95	791609	9722338	SAF 3	82,63	37,18	103,63	46,63
	96	791710	9722424	(12 anos)	130,19	58,59		
33_2008	97	791667	9720771		12,03	5,41		
	98	791746	9720938	SAF 1	15,54	6,99	15,42	6,94
	99	791634	9720964	(3 anos)	18,68	8,41		
34_2008	100	791408	9723753		11,34	5,10		
	101	791392	9723702	SAF 1	7,04	3,17	9,84	4,43
	102	791368	9723862	(3 anos)	11,14	5,01		
35_2008	103	791040	9724399		50,50	22,73		
	104	791089	9724277	SAF 3	53,27	23,97	51,86	23,34
	105	791160	9724204	(10 anos)	51,80	23,31		
36_2008	106	795721	9724667		14,01	6,30		
	107	795765	9724780	SAF 2	14,10	6,35	13,54	6,09
	108	795855	9724706	(7 anos)	12,50	5,63		
37_2008	109	798988	9727697		5,36	2,41		
	110	798964	9727644	SAF 1	4,50	2,03	4,98	2,24
	111	798858	9727507	(4 anos)	5,07	2,28		
38_2008	112	802868	9717196		2,36	1,06		
	113	802958	9717327	SAF 1	2,40	1,08	2,53	1,14
	114	803125	9717315	(2 anos)	2,83	1,27		
39_2008	115	791875	9718945		402,02	180,91		
	116	791784	9718972	SAF 4	161,13	72,51	277,46	124,86
	117	791868	9718832	(34 anos)	269,23	121,15		
40_2008	118	792278	9718443		77,25	34,76		
	119	792195	9718535	SAF 3	80,64	36,29	83,74	37,68
	120	792264	9718636	(15 anos)	93,34	42,00		

Onde: (EBE) é a biomassa epígea em Mg.ha⁻¹ e (C) é o estoque de carbono em MgC.ha⁻¹.

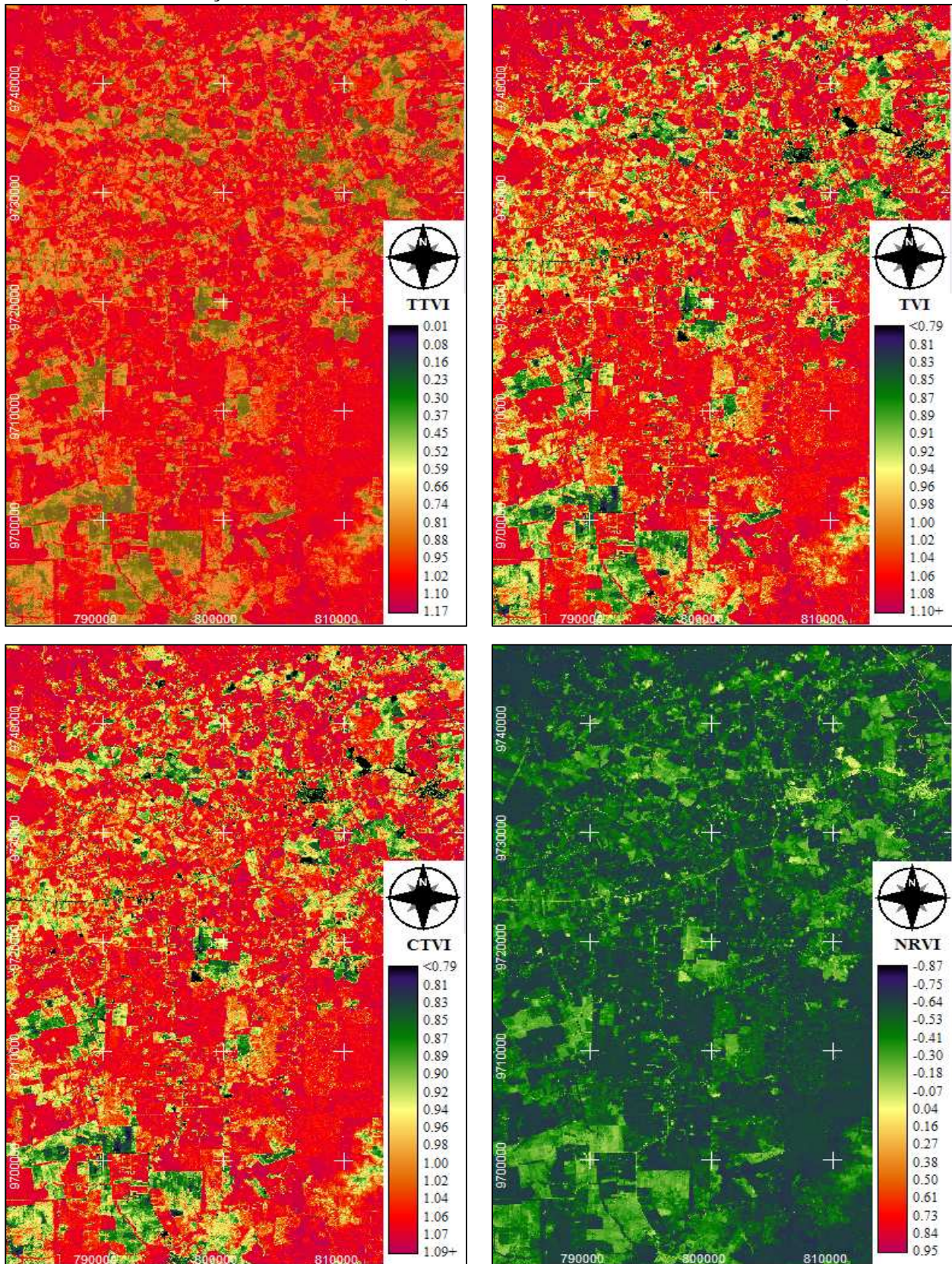
Anexo 2. Transformações radiométricas (IV-Razão Simples: RVI, RV 3:4, RV 5:3 e RV 5:4) 2005.



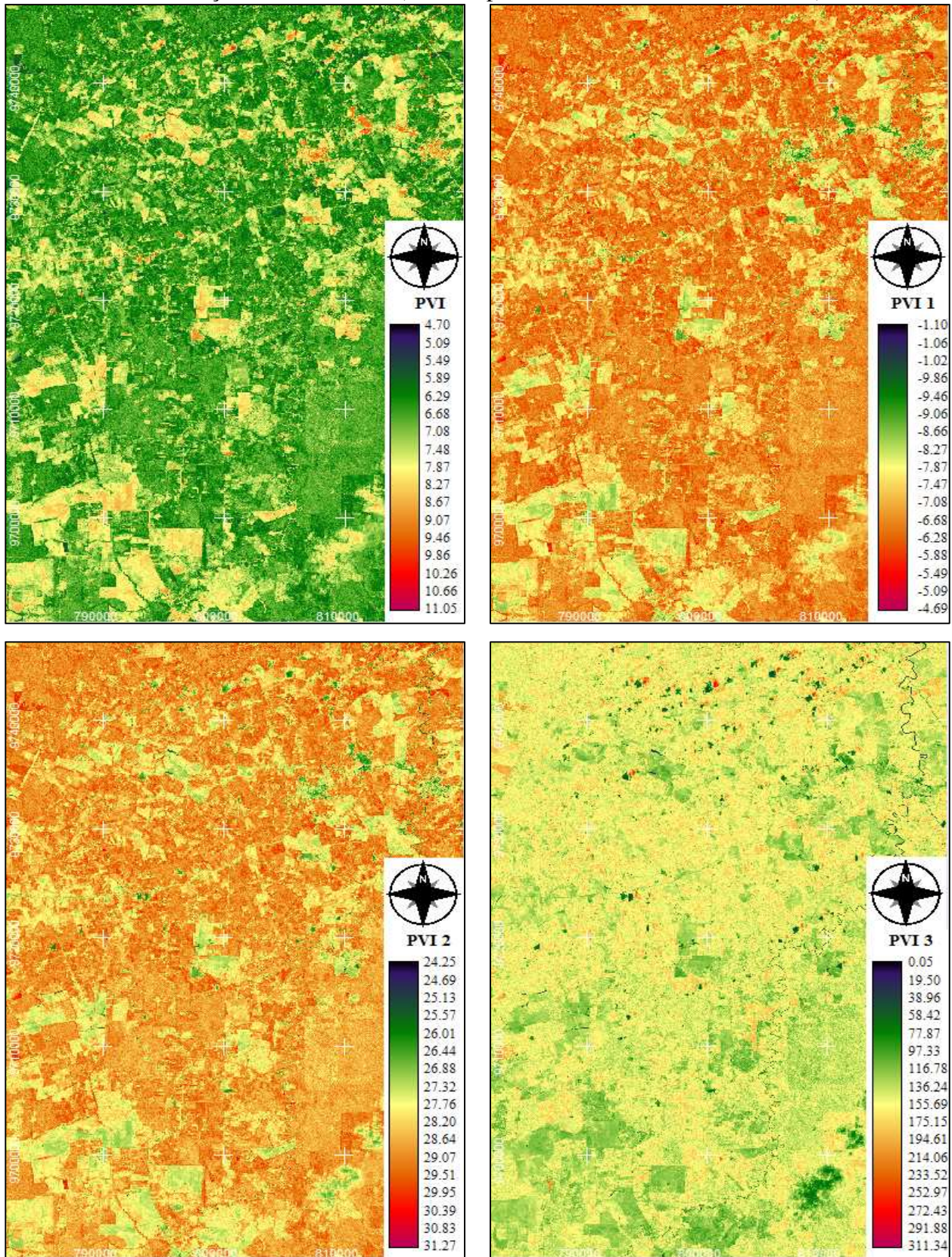
Anexo 3. Transformações radiométricas (IV-Normalizados: NDVI, ND 5:3, ND 5:4 e ND 5:7) 2005.



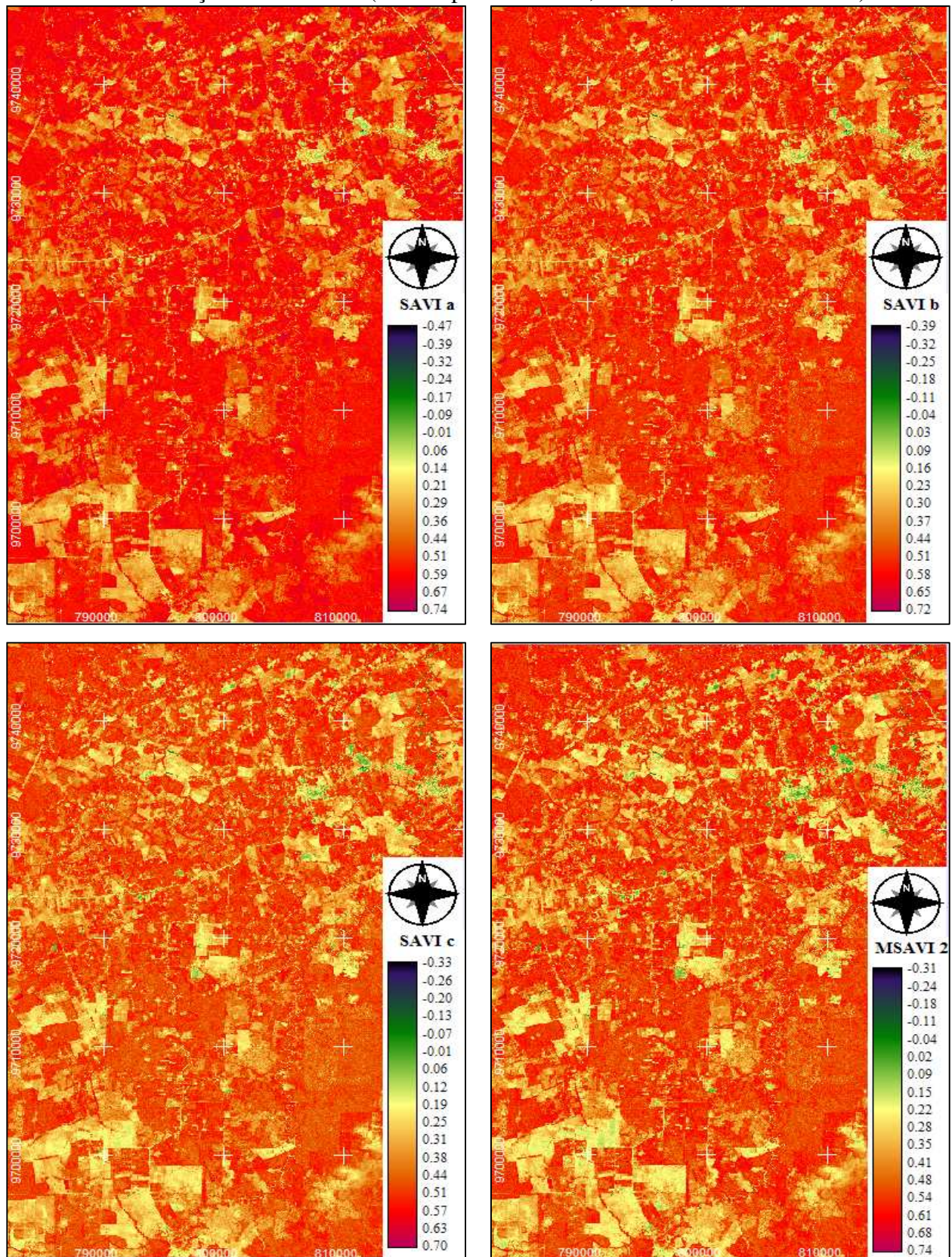
Anexo 4. Transformações radiométricas (IV-Normalizados: TTVI, TVI, CTVI e NRVI) 2005.



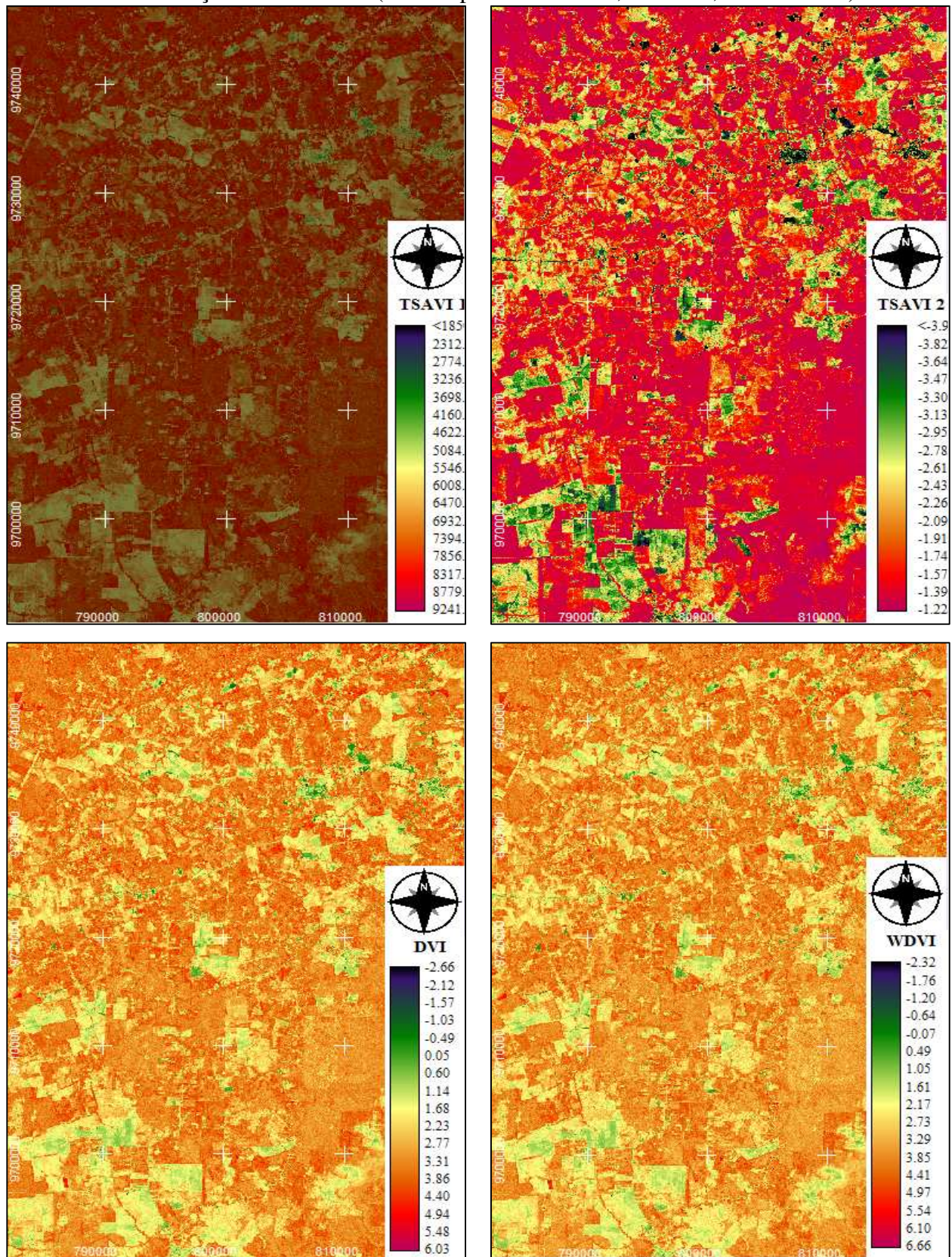
Anexo 5. Transformações radiométricas (IV-Complexos: PVI, PVI 1, PVI 2 e PVI 3) 2005.



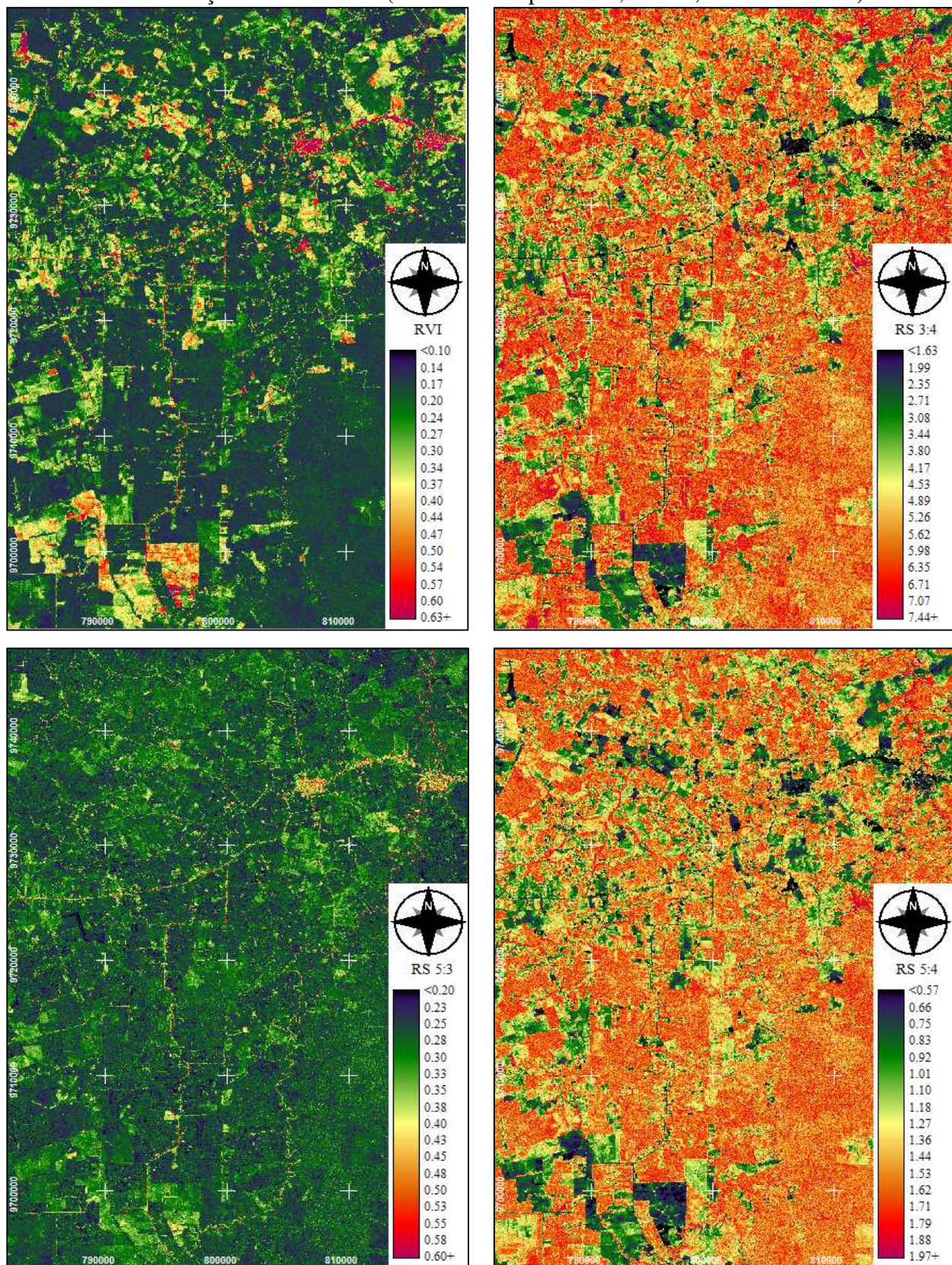
Anexo 6. Transformações radiométricas (IV-Complexos: SAVI a, SAVI b, SAVI c e MSAVI 2) 2005.



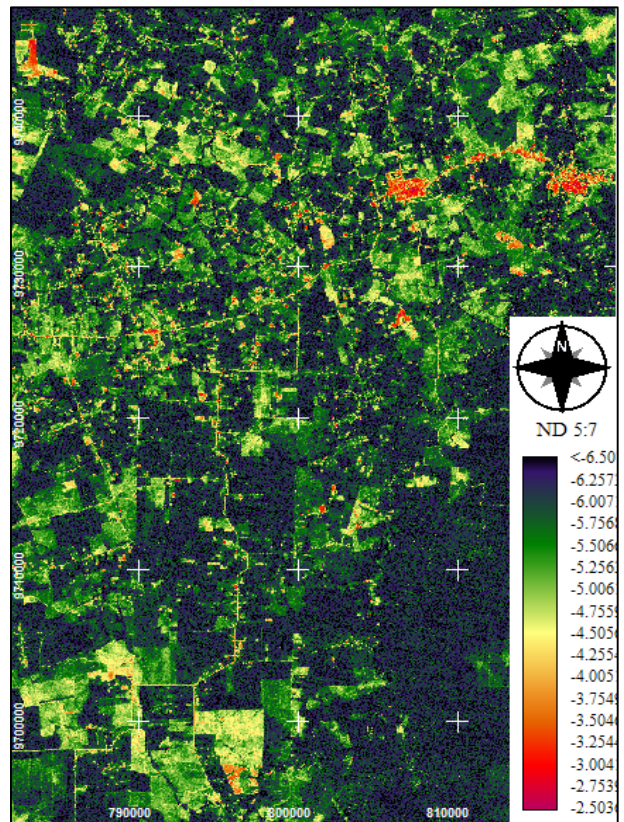
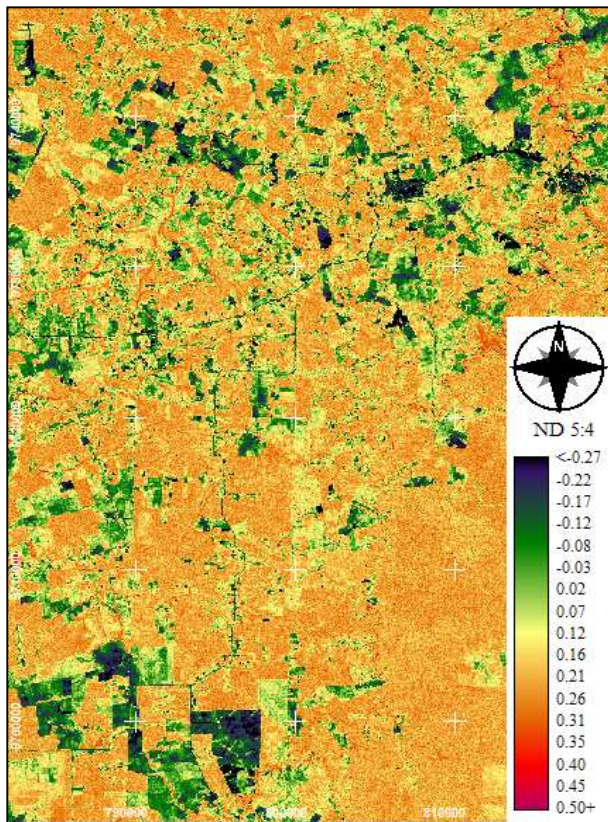
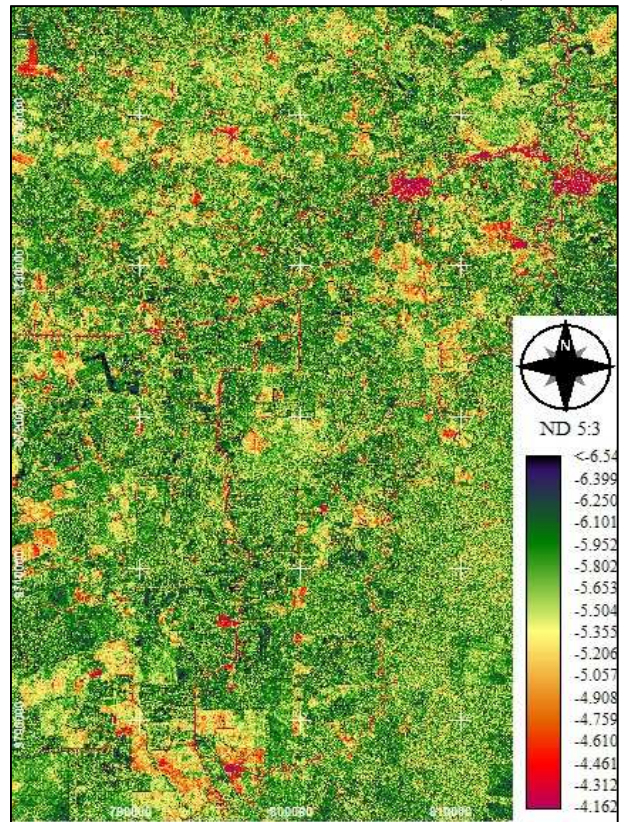
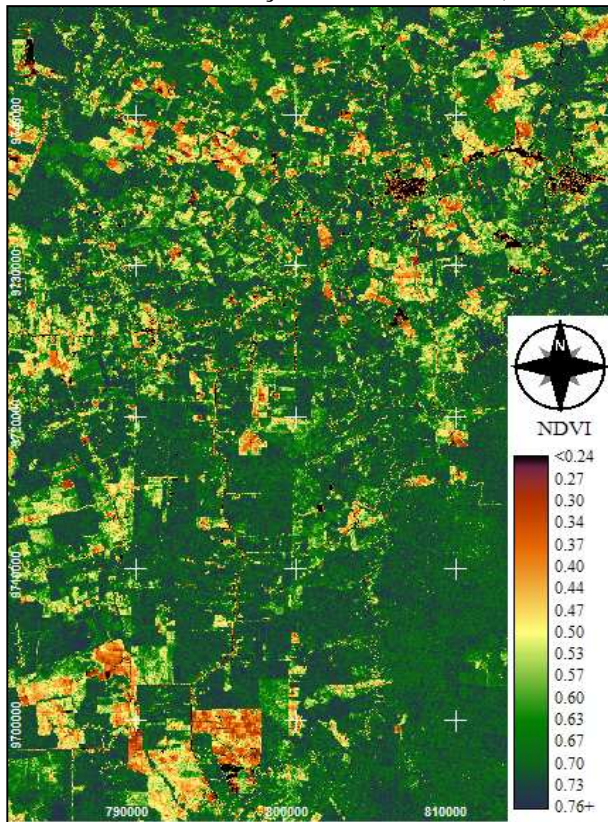
Anexo 7. Transformações radiométricas (IV-Complexos: TSAVI 1, TSAVI 2, DVI e WDI) 2005.



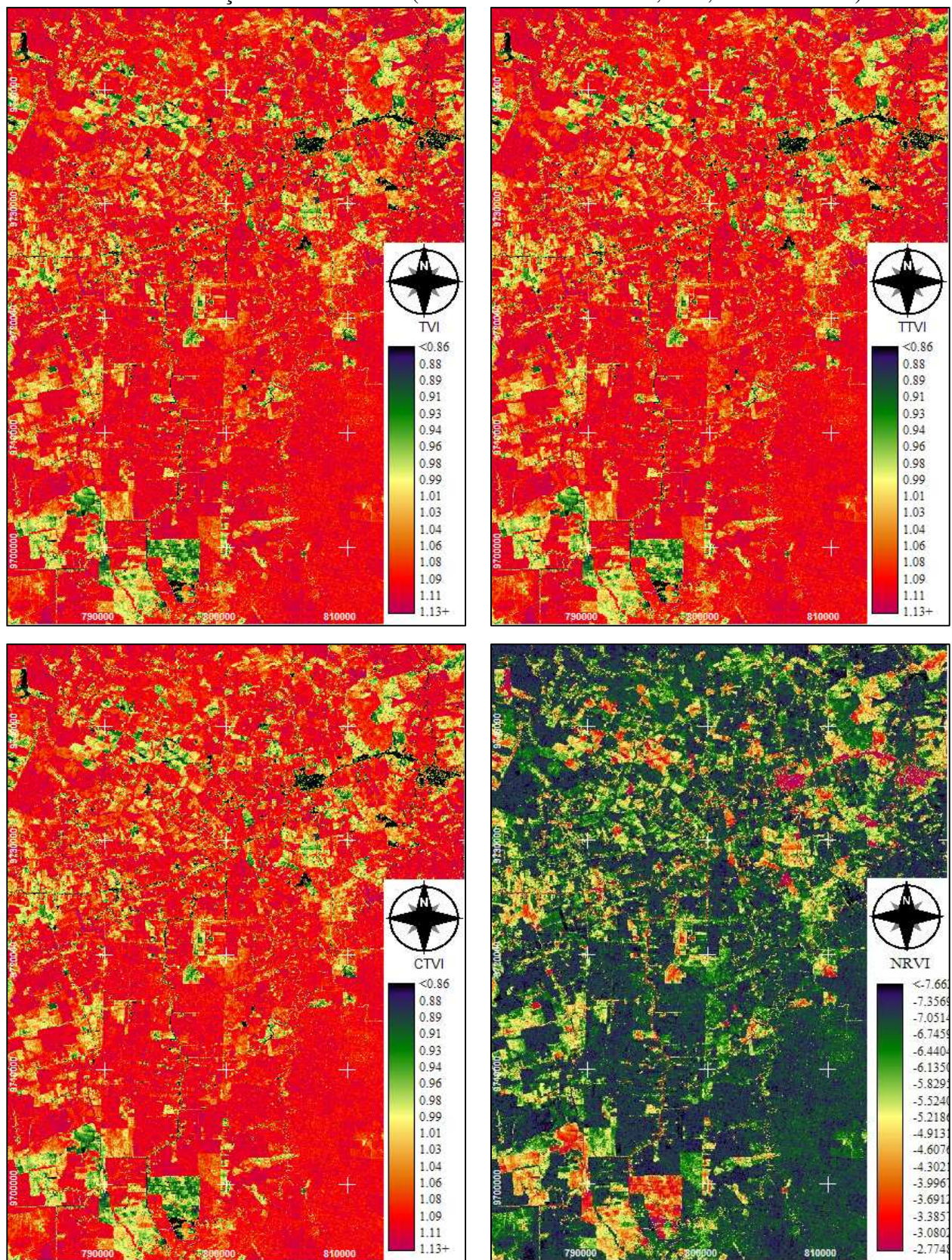
Anexo 8. Transformações radiométricas (IV-Razão Simples: RVI, RS 3:4, RS 5:3 e RS 5:4) 2008.



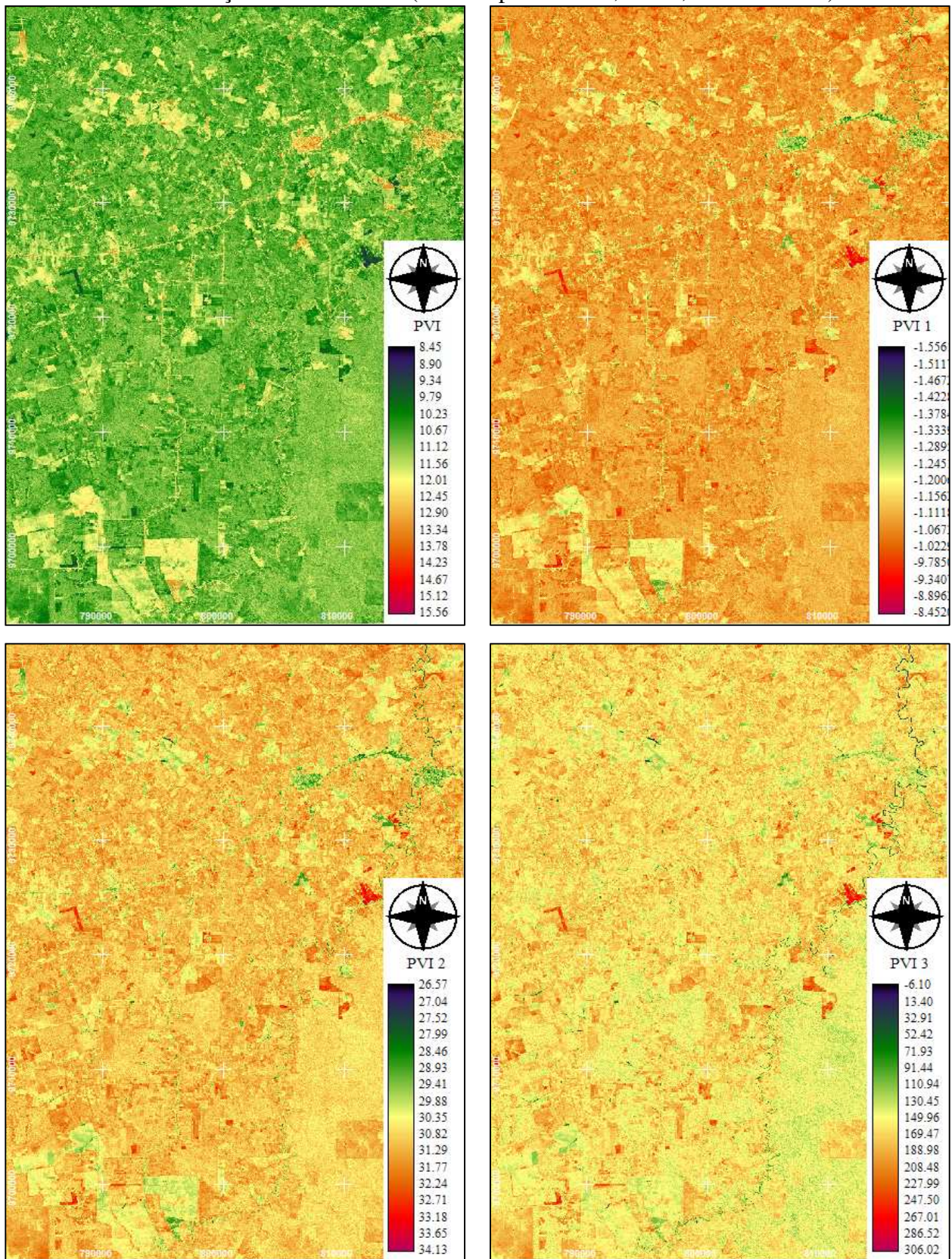
Anexo 9. Transformações radiométricas (IV-Normalizados: NDVI, ND 5:3, ND 5:4 e ND 5:7) 2008.



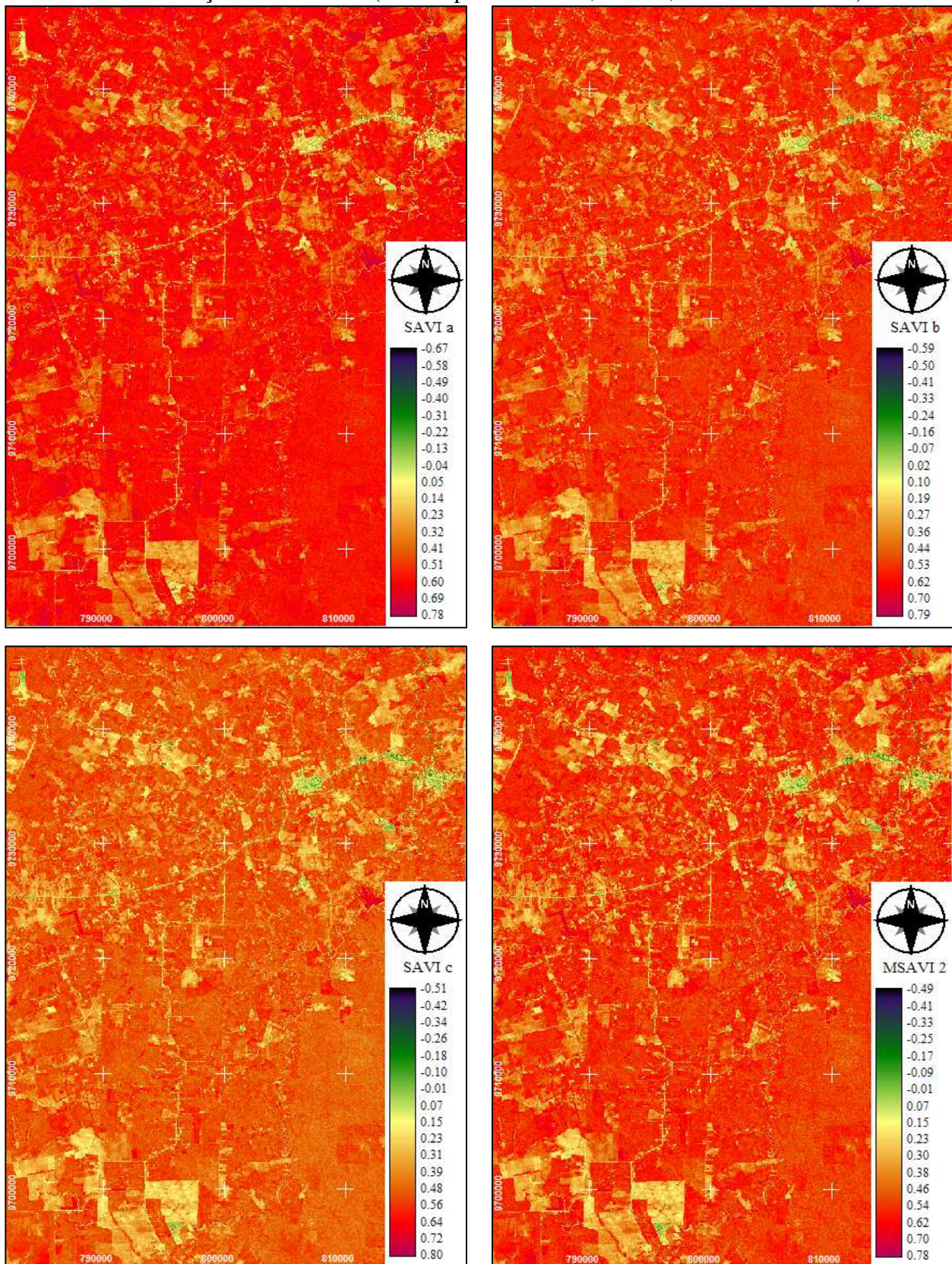
Anexo 10. Transformações radiométricas (IV-Normalizados: TTVI, TVI, CTVI e NRVI) 2008.



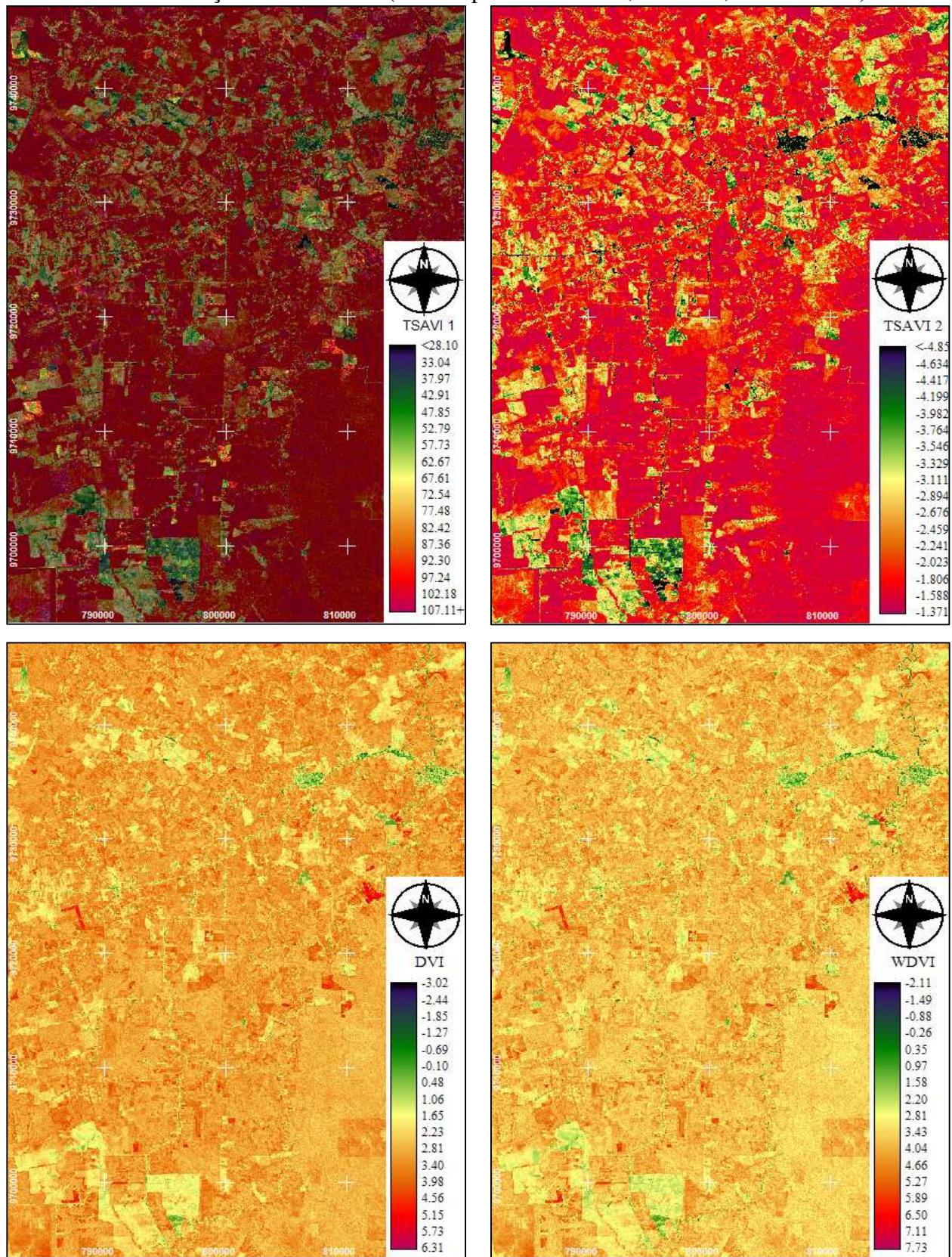
Anexo 11. Transformações radiométricas (IV-Complexos: PVI, PVI 1, PVI 2 e PVI 3) 2008.



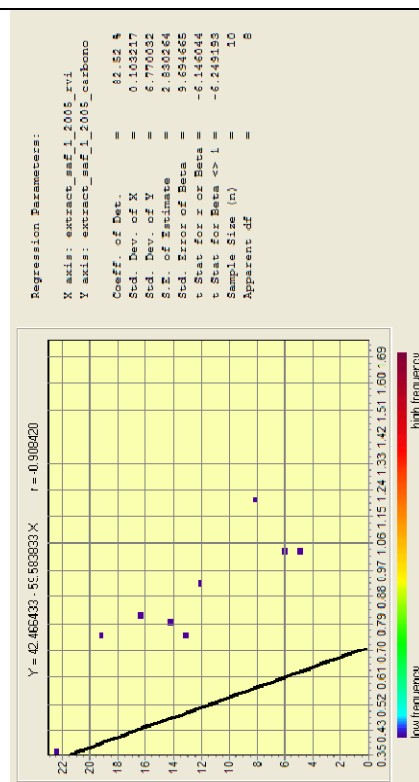
Anexo 12. Transformações radiométricas (IV-Complexos: SAVI a, SAVI b, SAVI c e MSAVI 2) 2008.



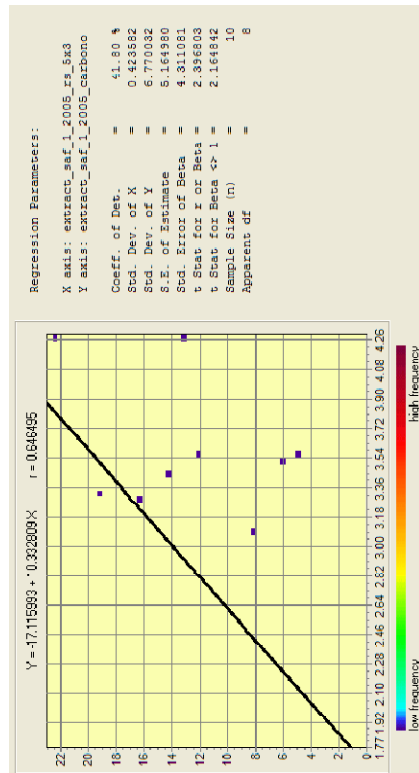
Anexo 13. Transformações radiométricas (IV-Complexos: TSAVI 1, TSAVI 2, DVI e WDDVI) 2008.



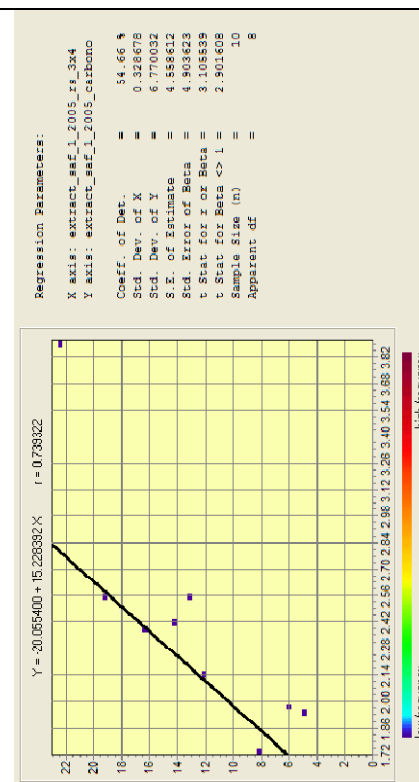
Anexo 14. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Razão Simples) 2005.



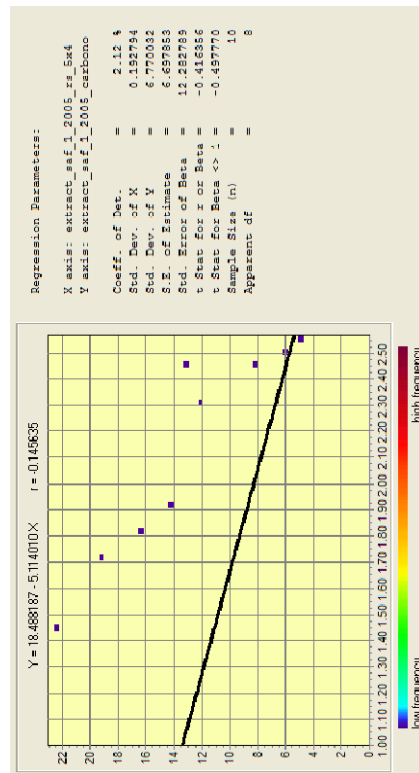
RVI



RS 5:3

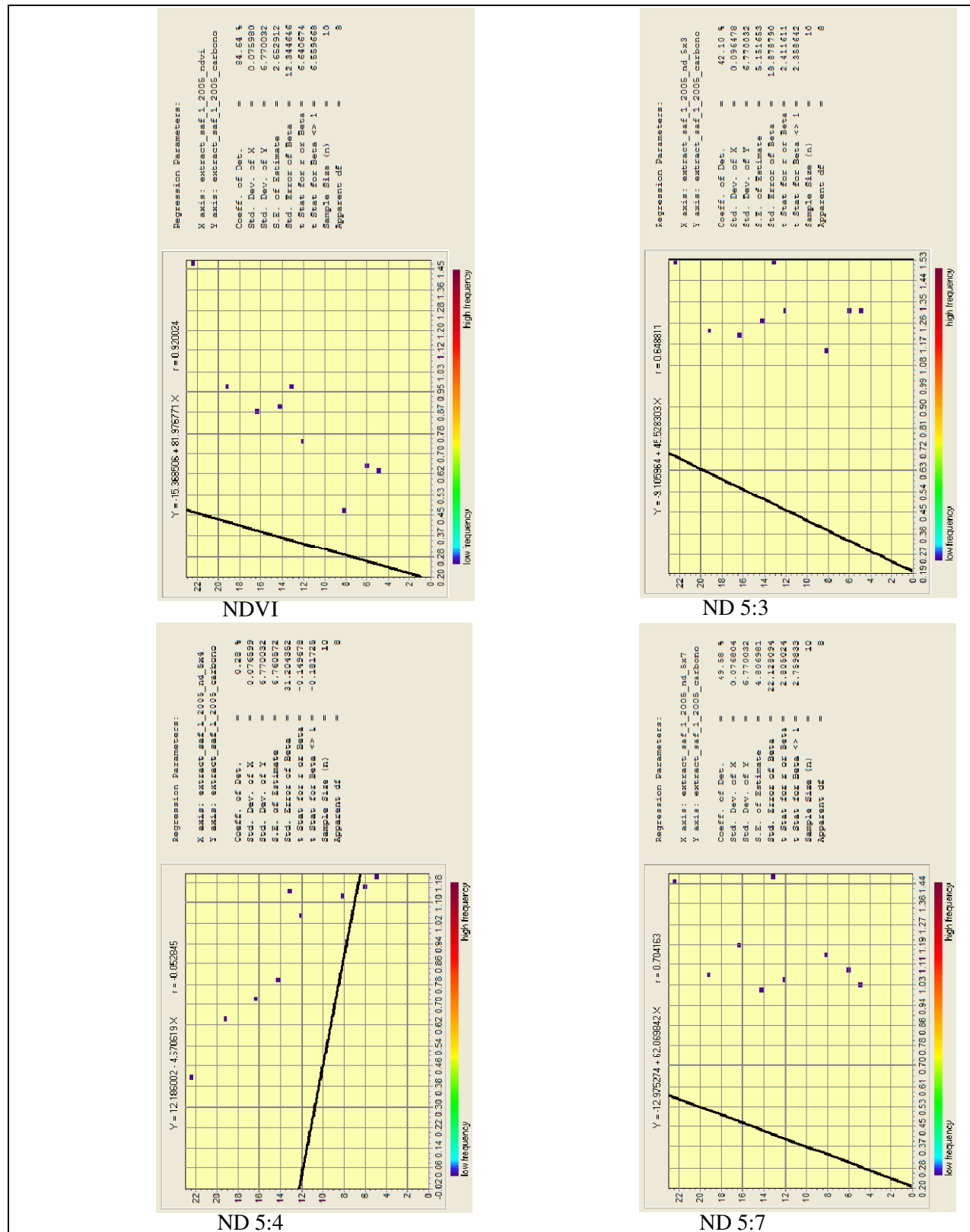


RS 3:4

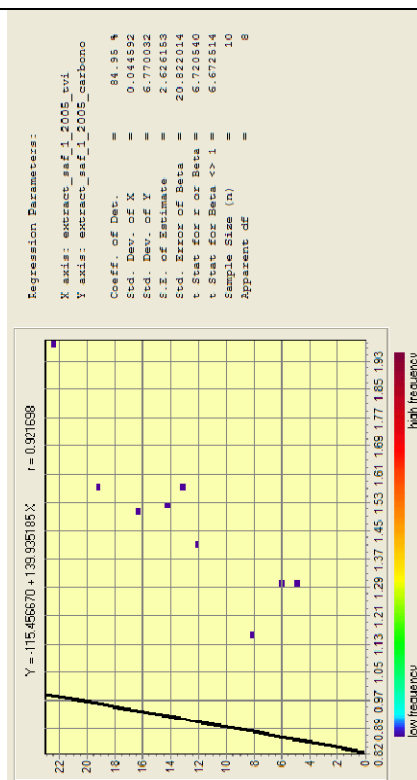


RS 5:4

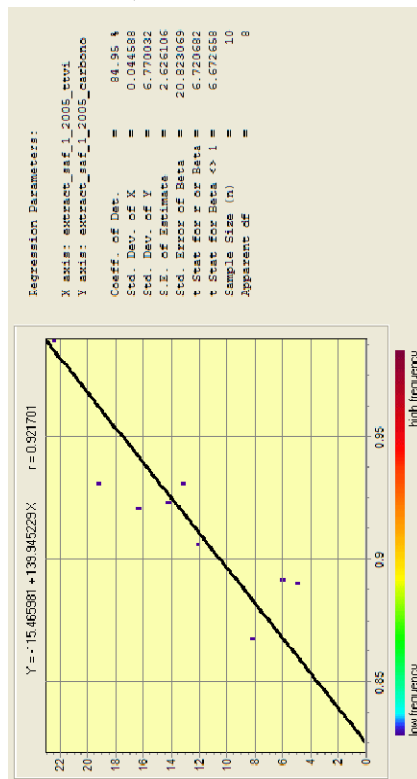
Anexo 15. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Normalizados) 2005.



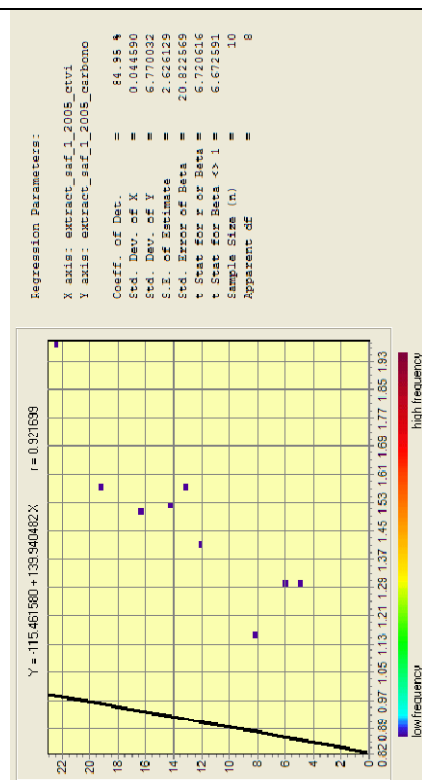
Anexo 16. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Normalizados) 2005.



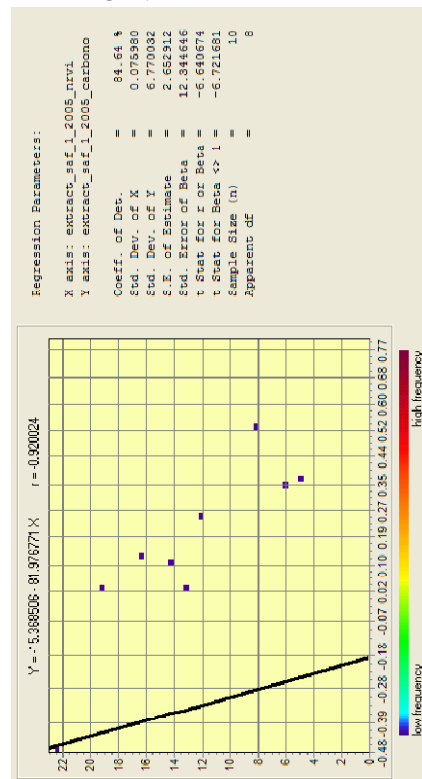
TVI



TTVI

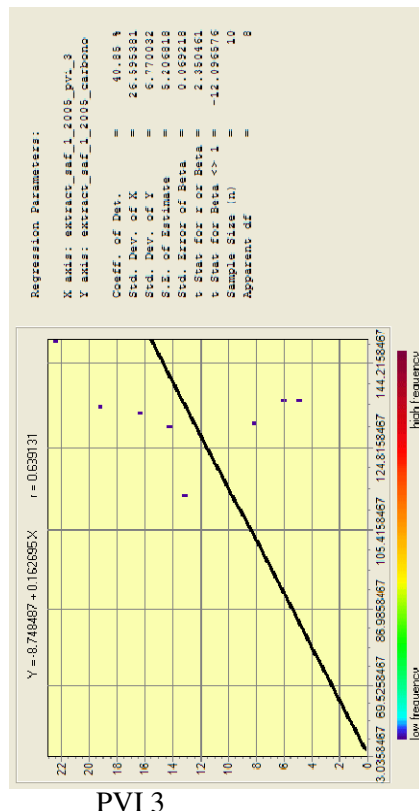
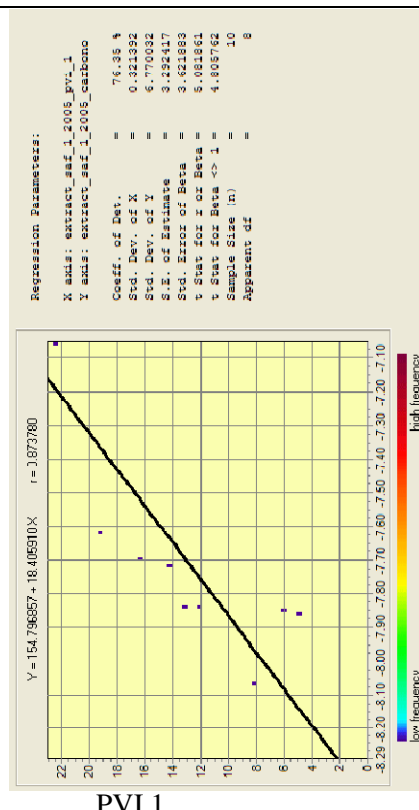
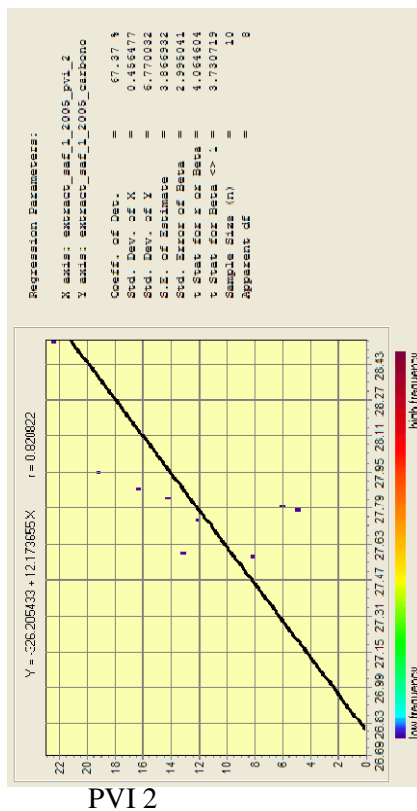
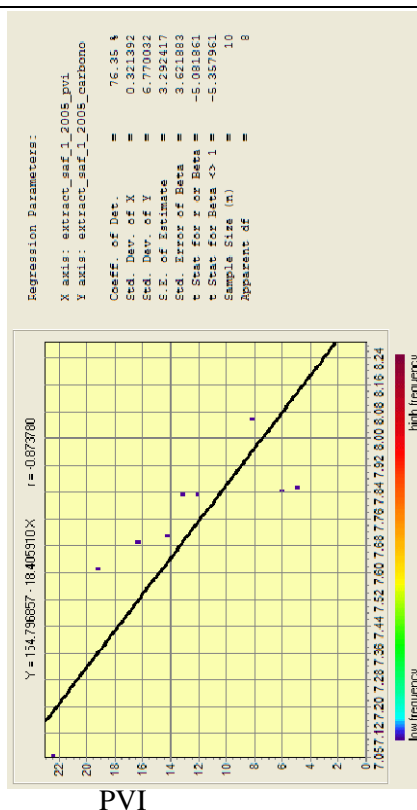


CTVI

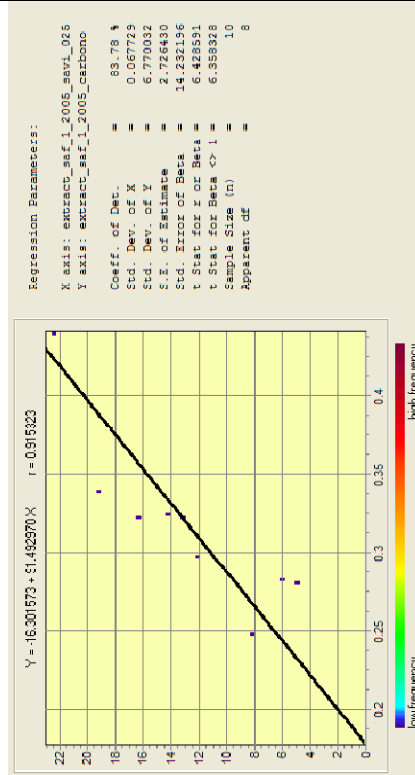


NRVI

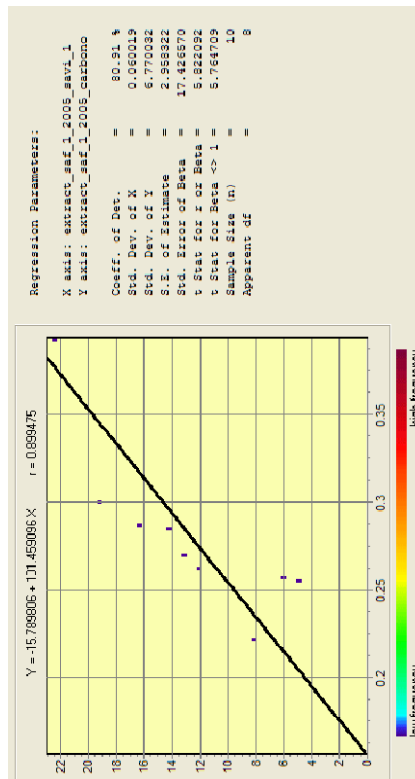
Anexo 17. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2005.



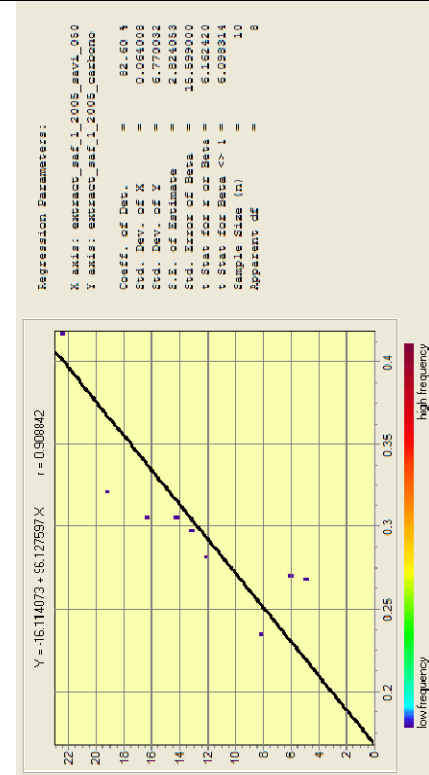
Anexo 18. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2005.



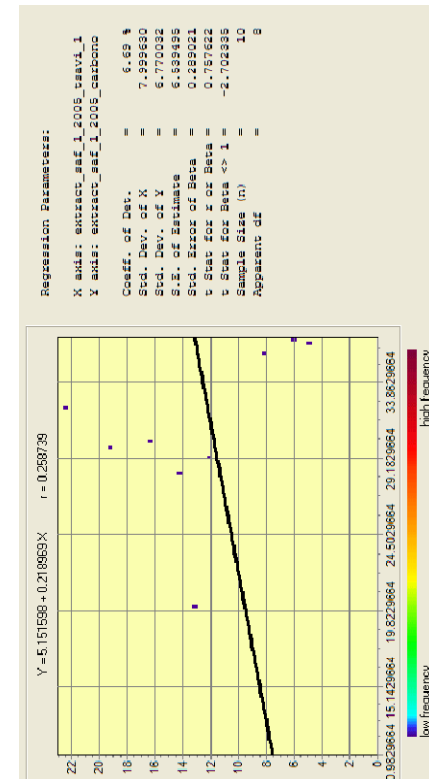
SAVI a



SAVI c

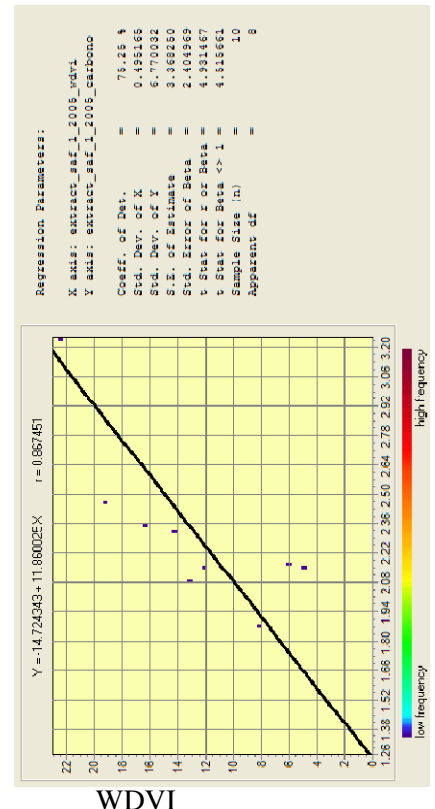
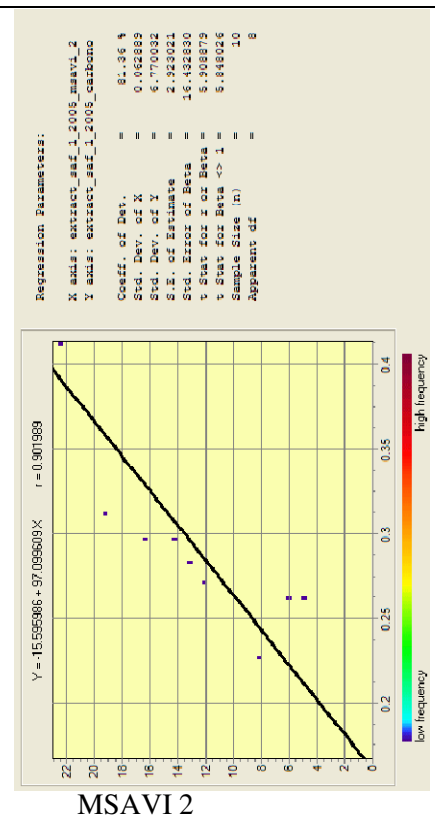
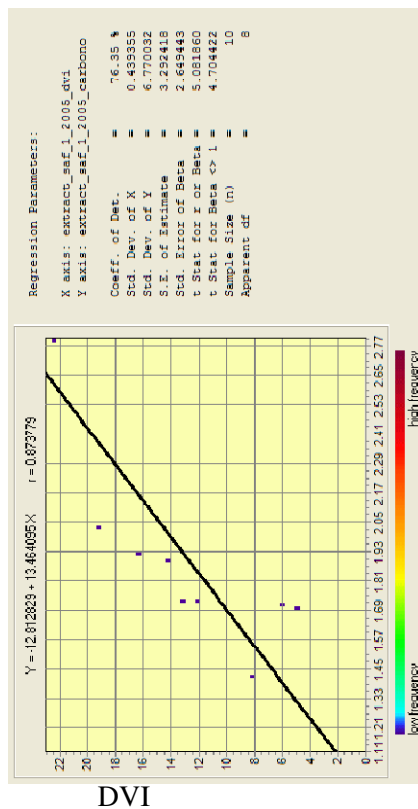
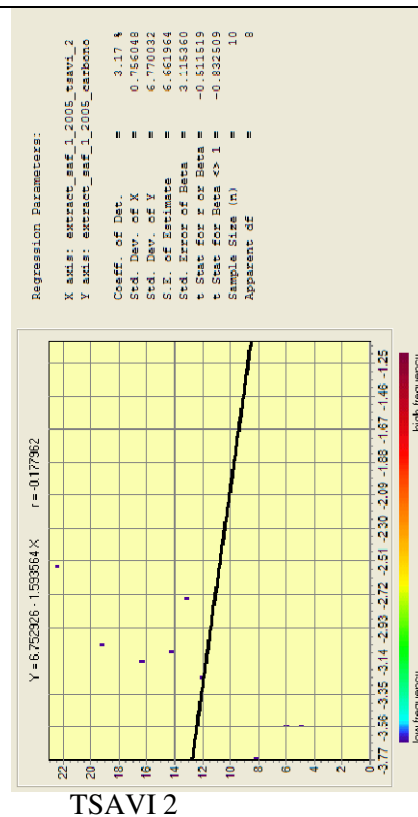


SAVI b

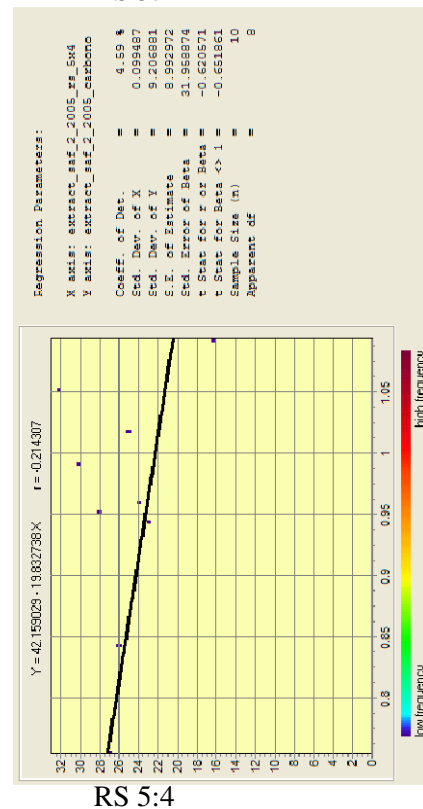
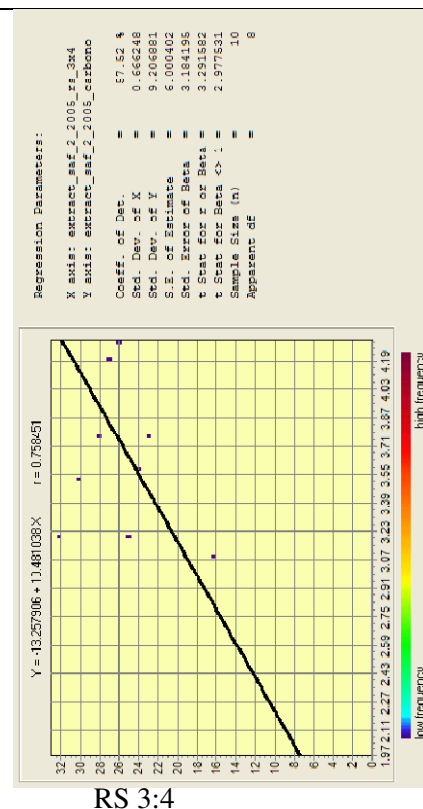
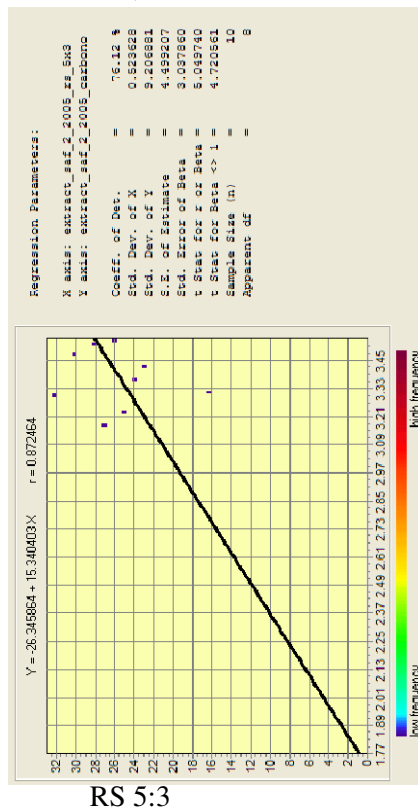
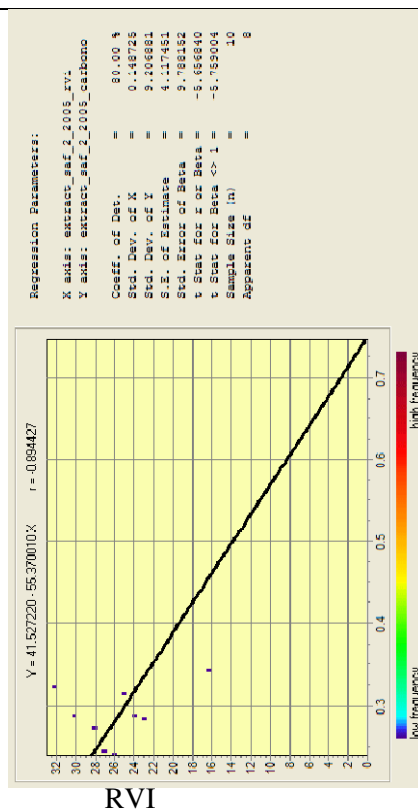


TSAVI 1

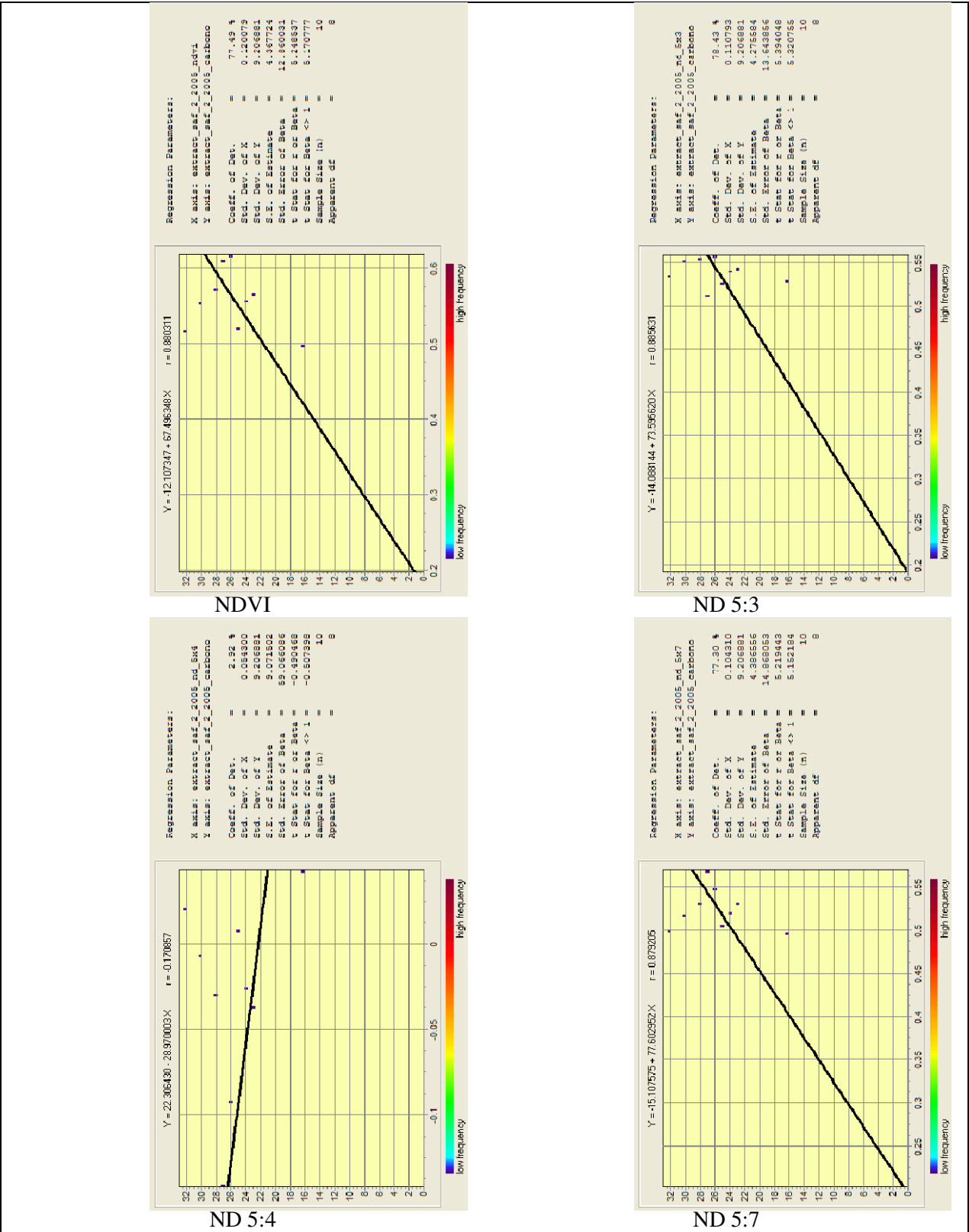
Anexo 19. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2005.



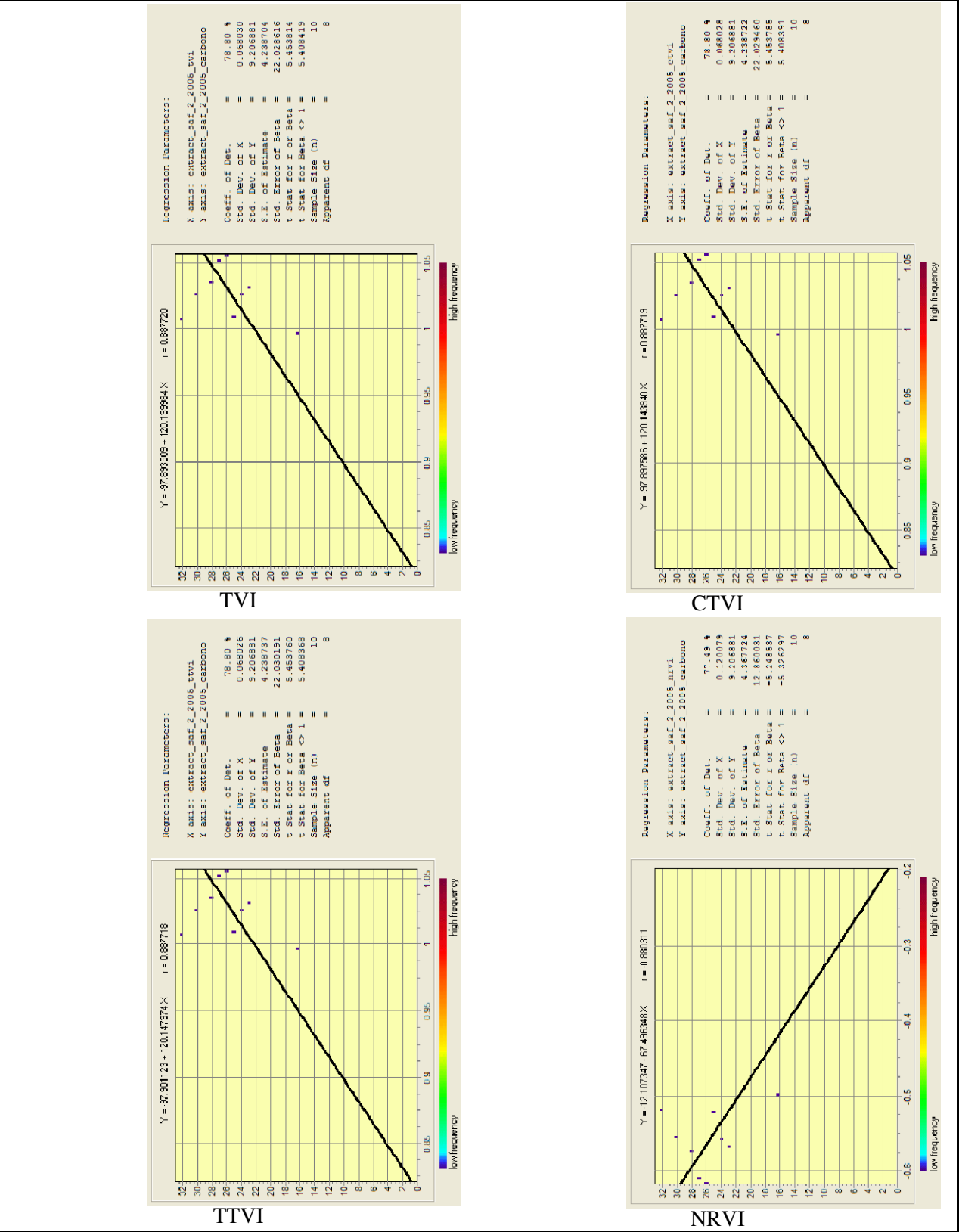
Anexo 20. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Razão Simples) 2005.



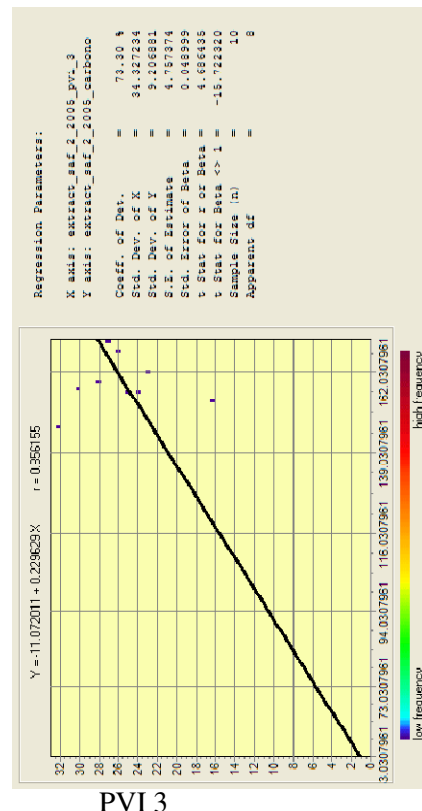
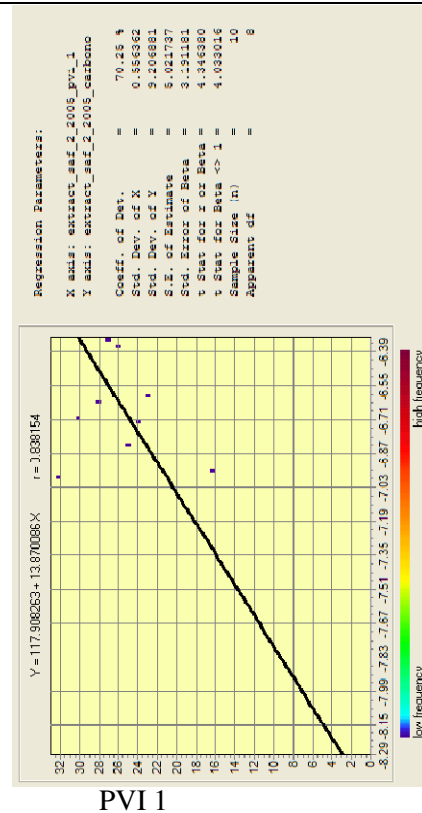
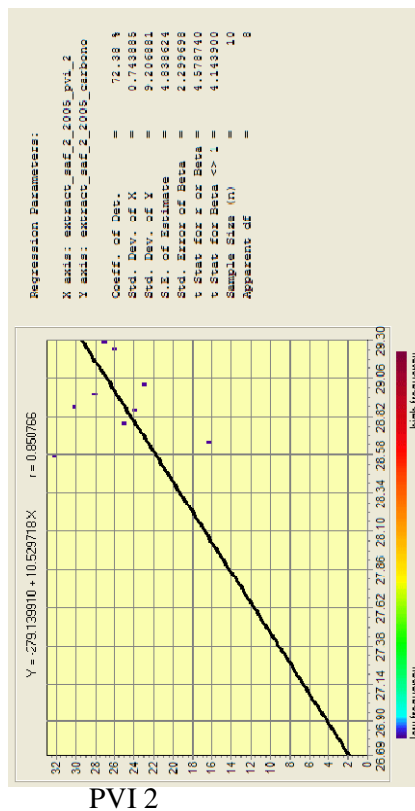
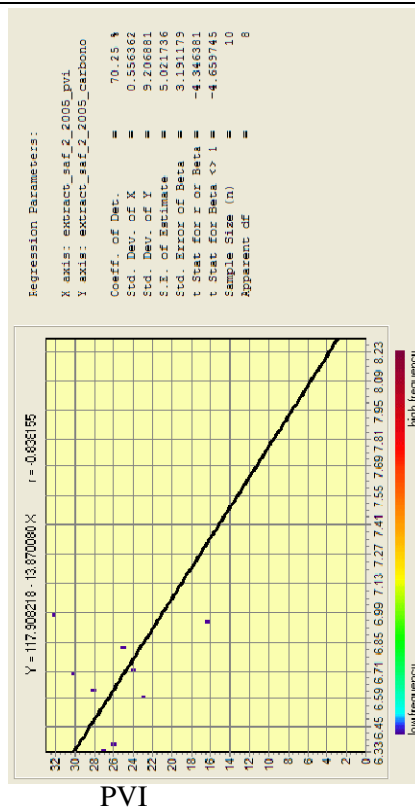
Anexo 21. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Normalizados) 2005.



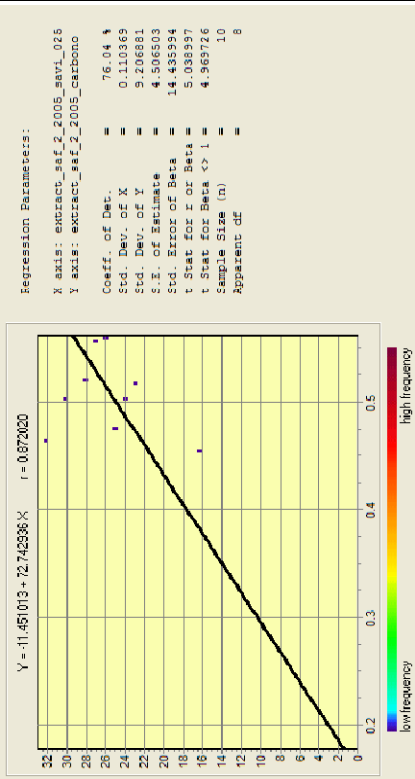
Anexo 22. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Normalizados) 2005.



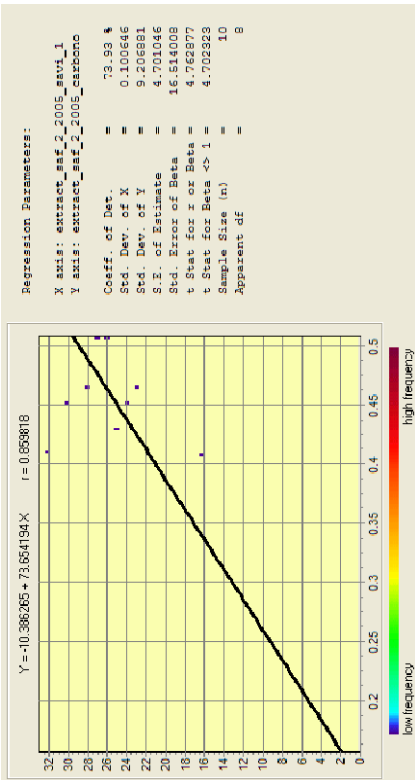
Anexo 23. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2005.



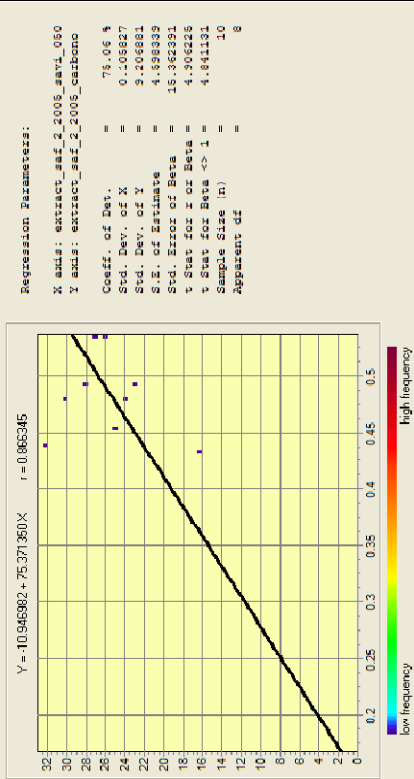
Anexo 24. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2005.



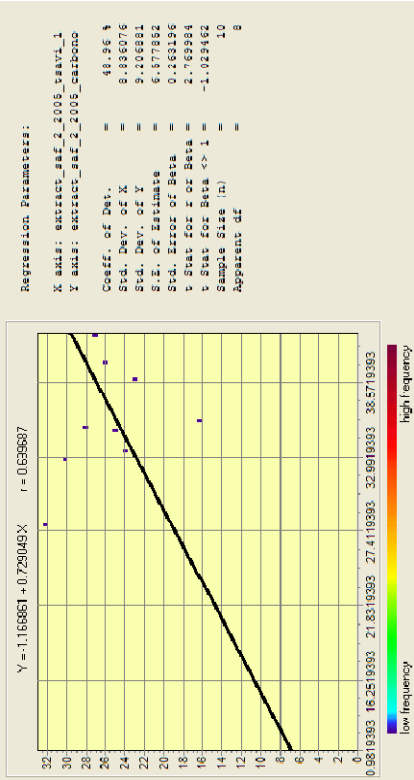
SAVI a



SAVI c

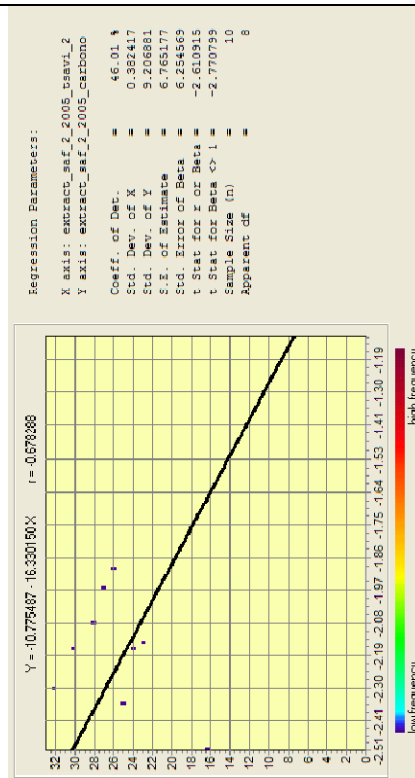


SAVI b

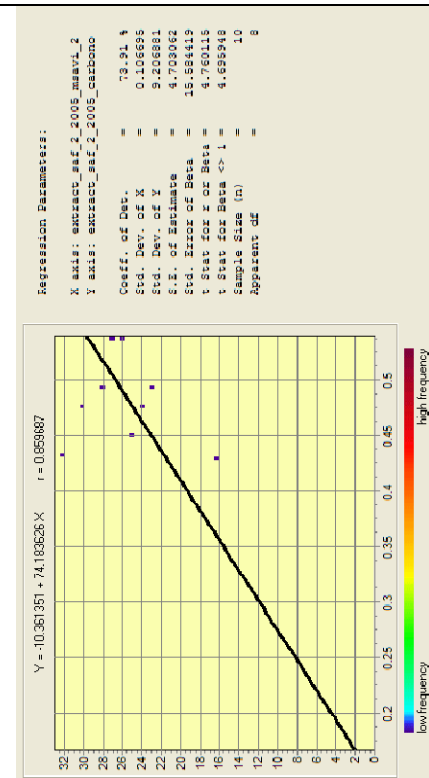


TSAVI 1

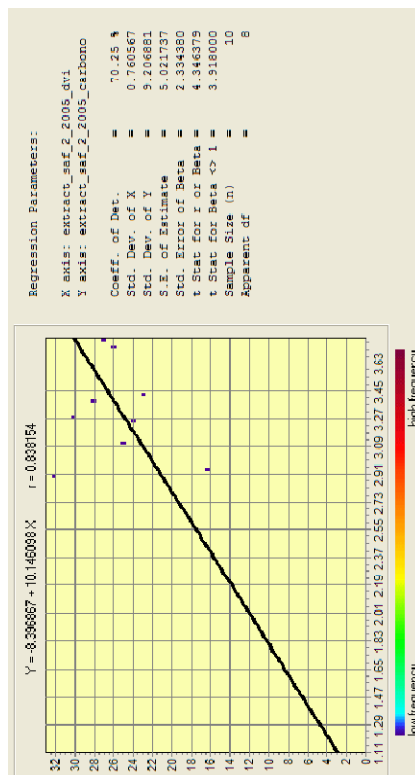
Anexo 25. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2005.



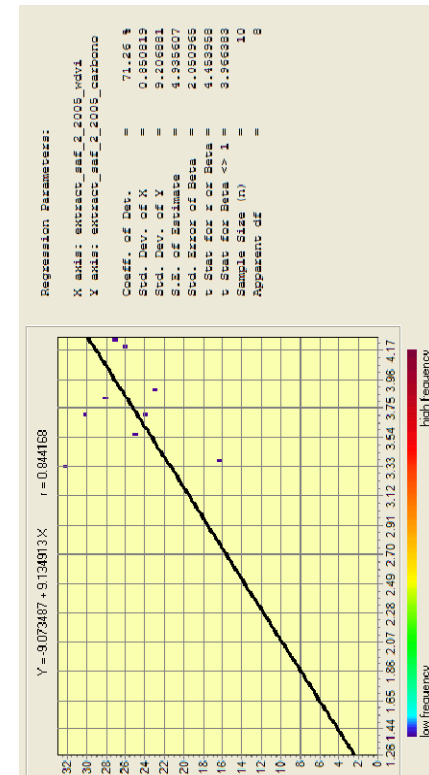
TSAVI 2



MSAVI 1

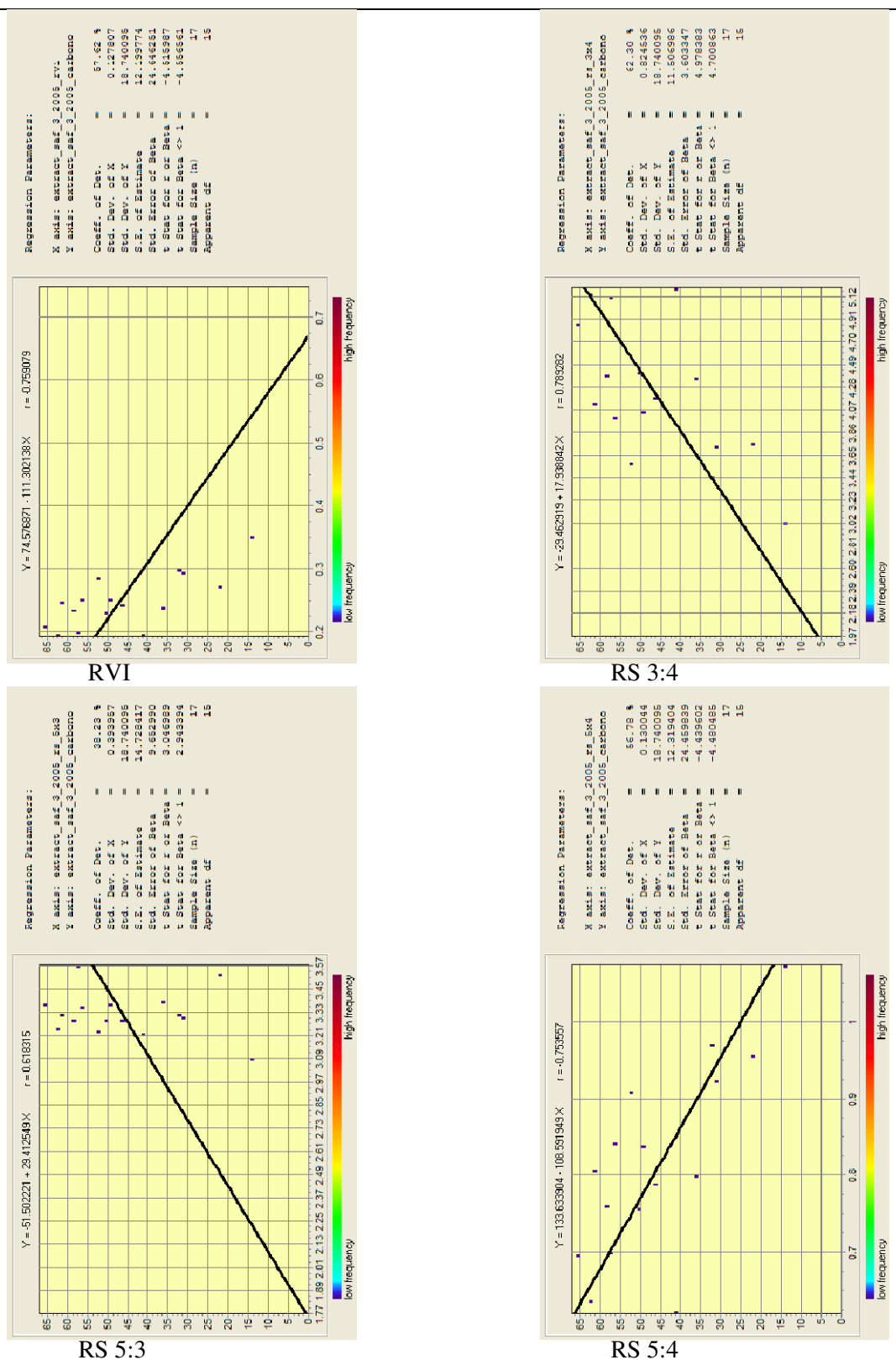


DVI

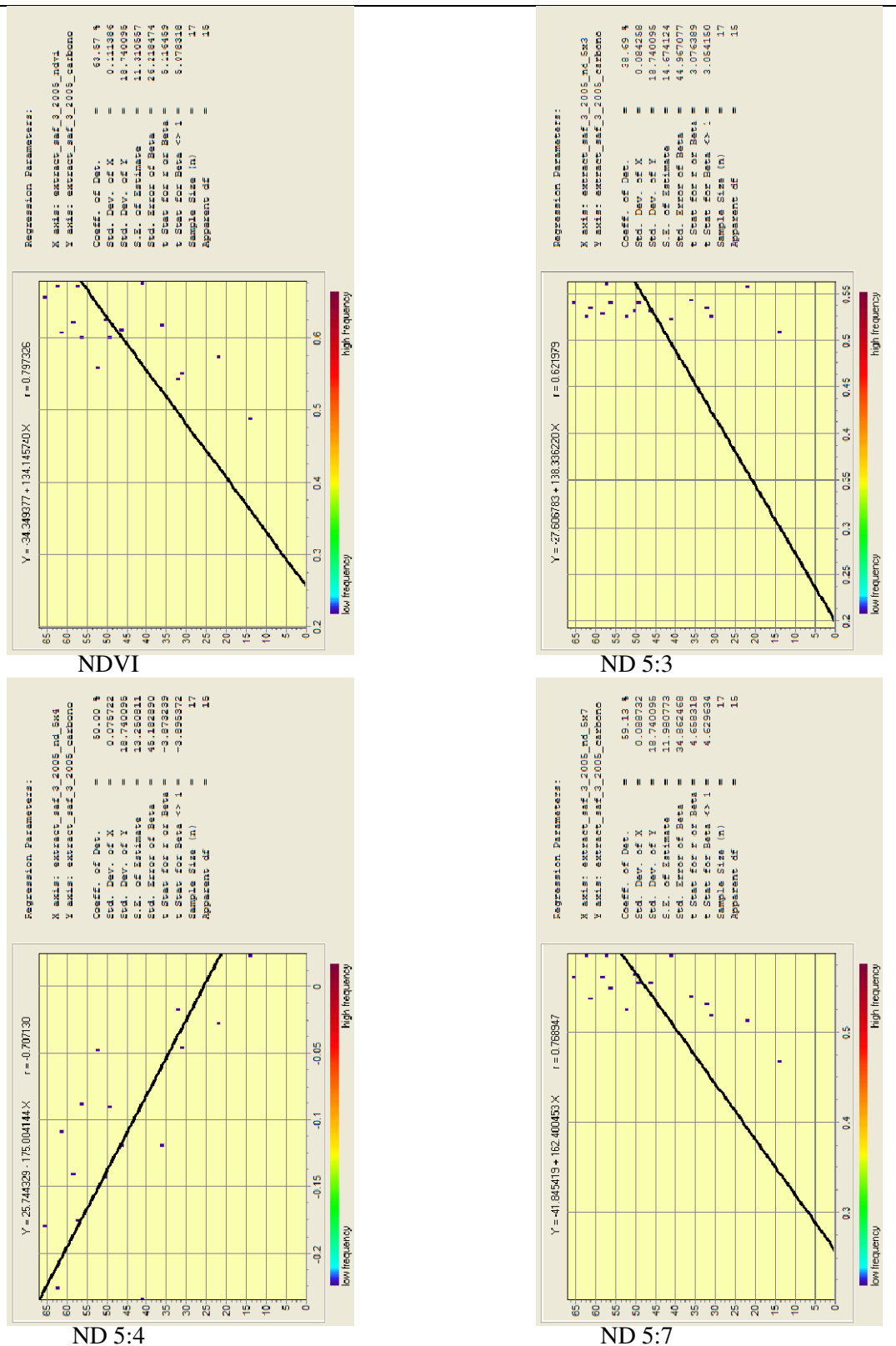


WDVI

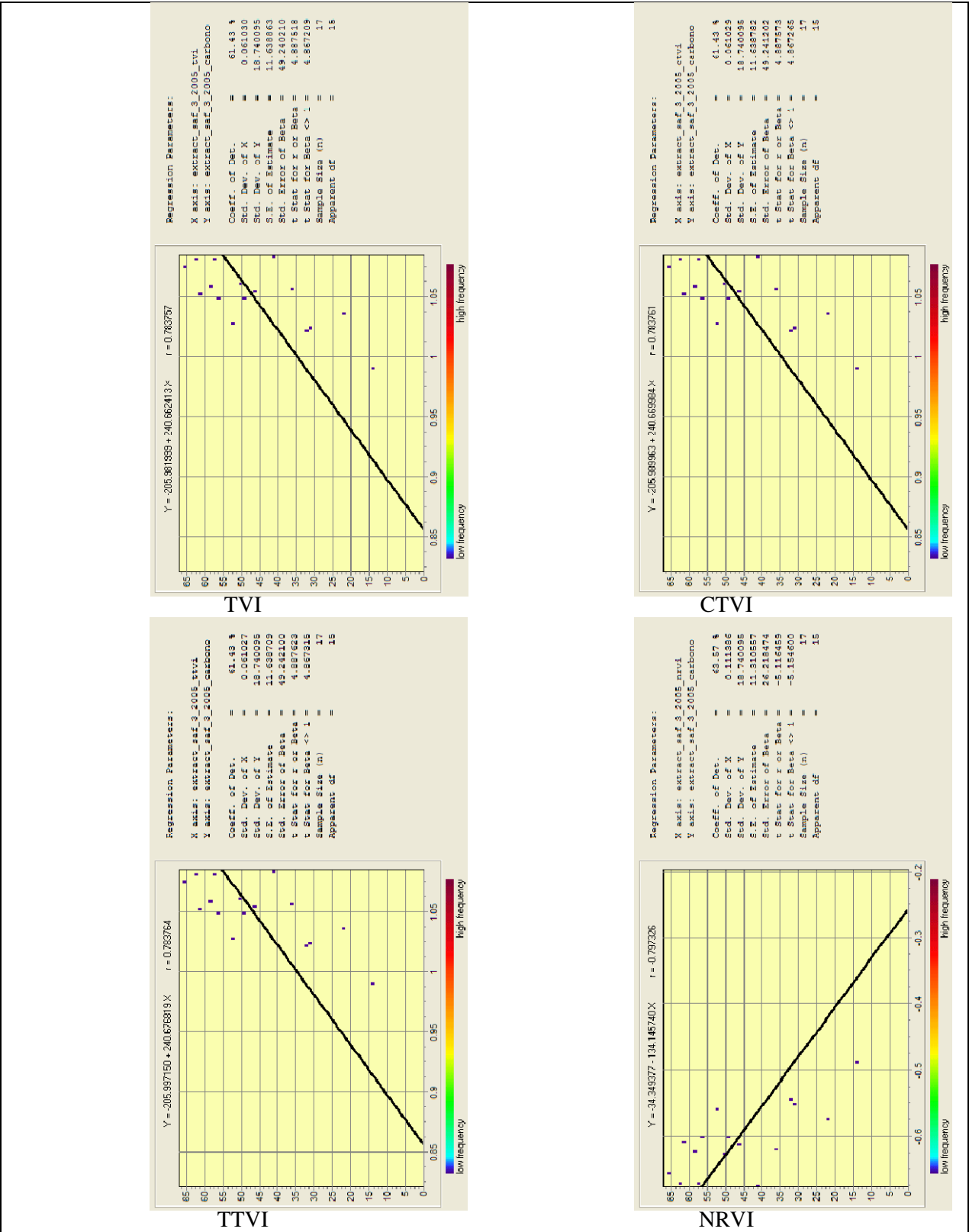
Anexo 26. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Razão Simples) 2005.



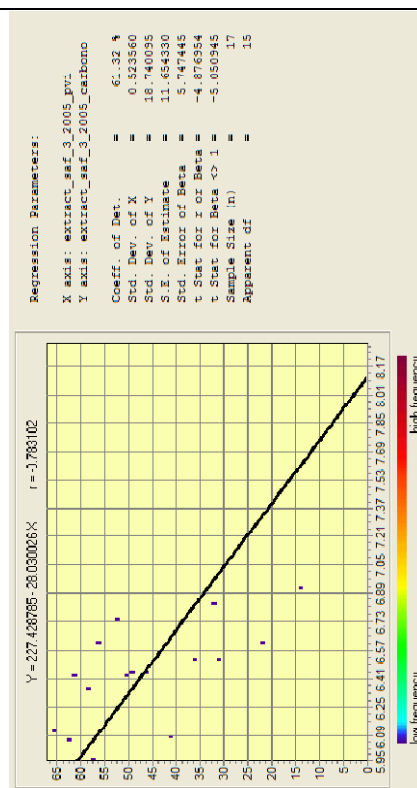
Anexo 27. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Normalizados) 2005.



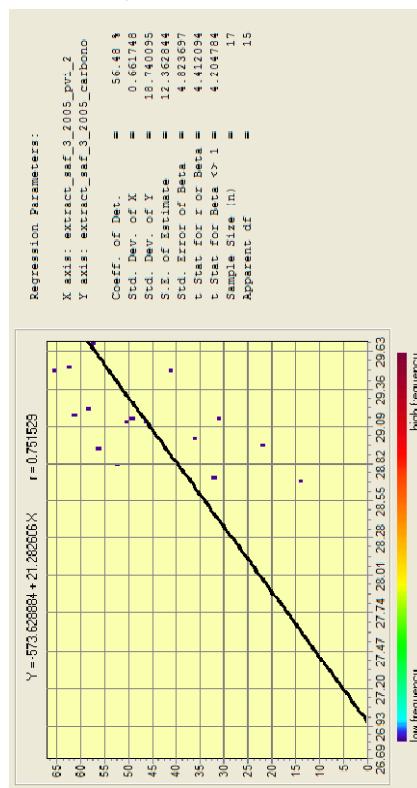
Anexo 28. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Normalizados) 2005.



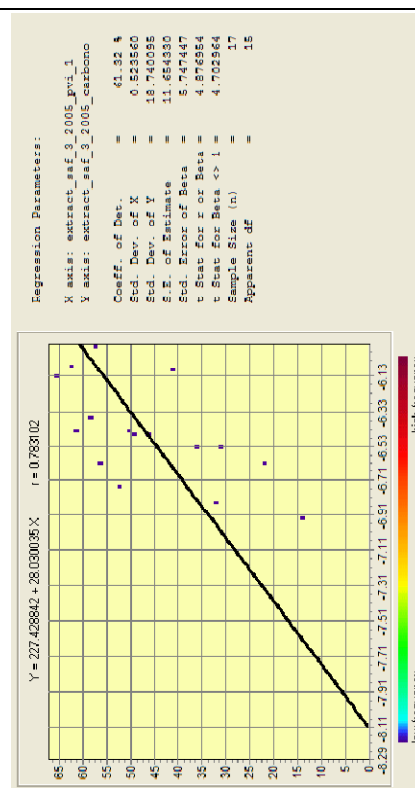
Anexo 29. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2005.



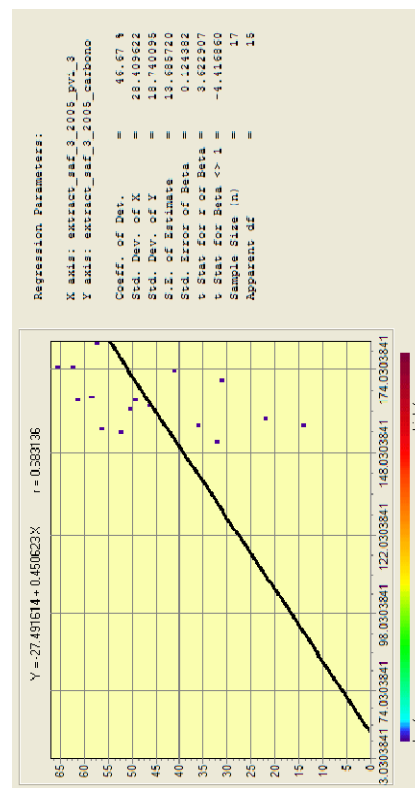
PVI



PVI2

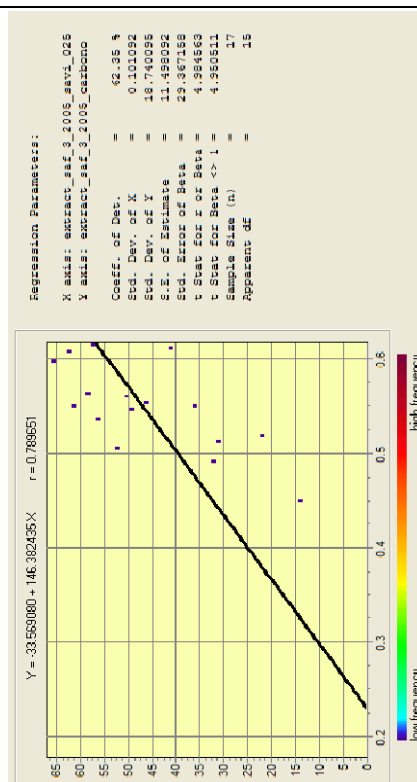


PVI1

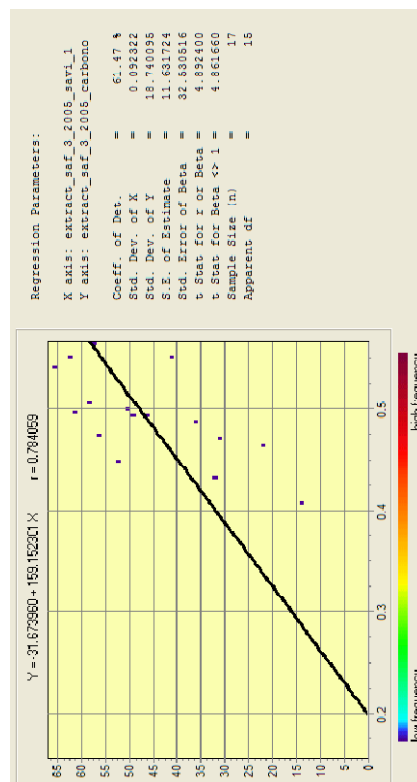


PVI3

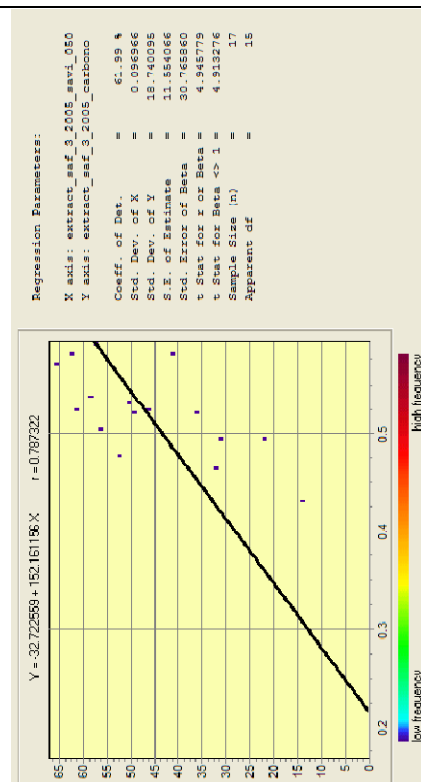
Anexo 30. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2005.



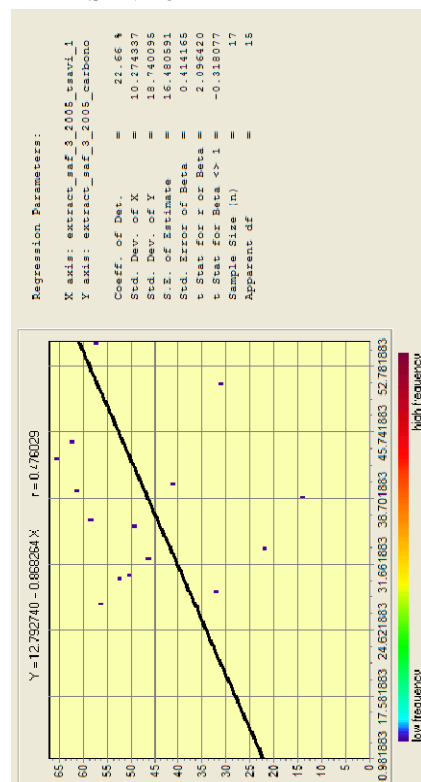
SAVI a



SAVI c

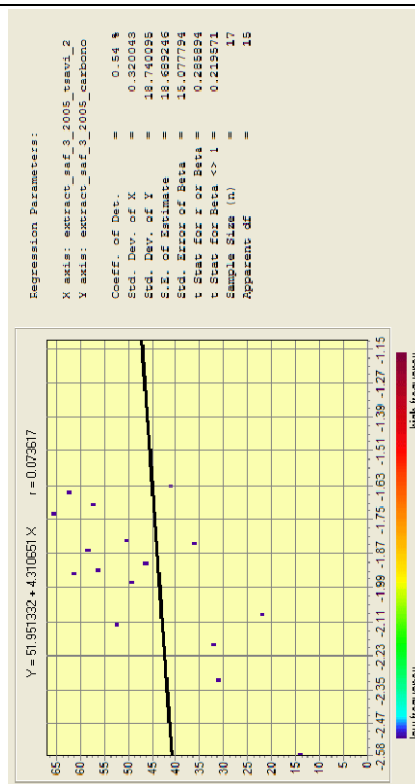


SAVI b

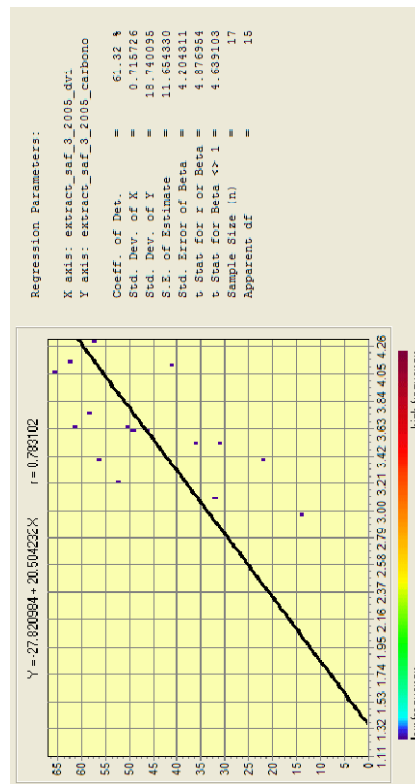


TSAVI 1

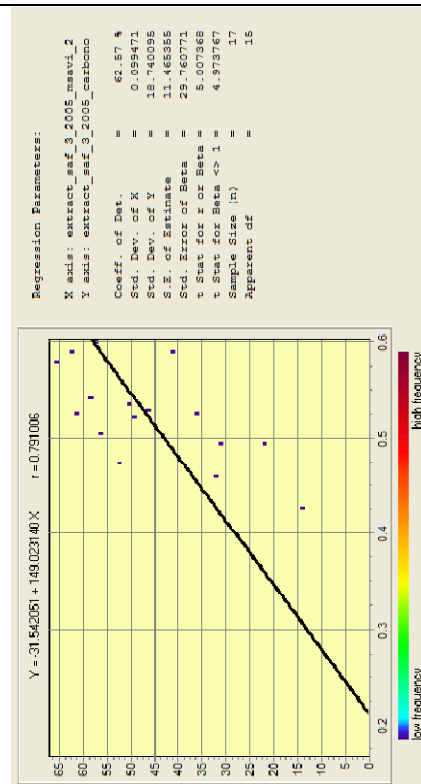
Anexo 31. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2005.



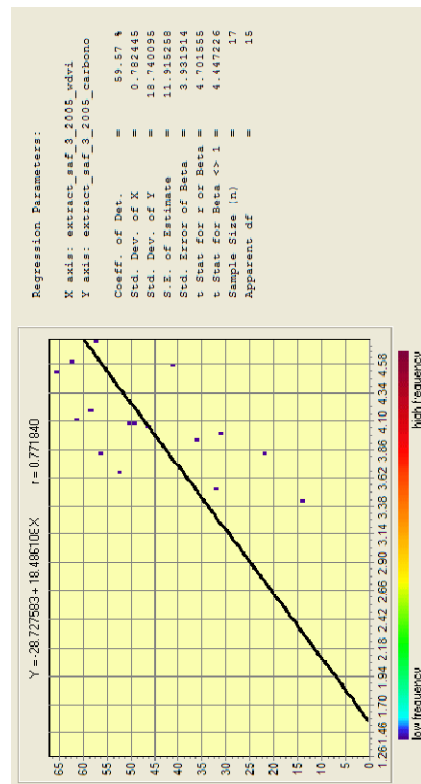
TSavi 2



DVI

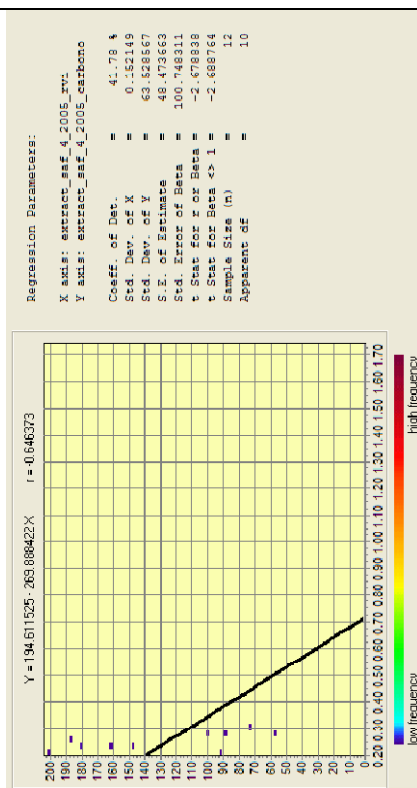


MSavi 1

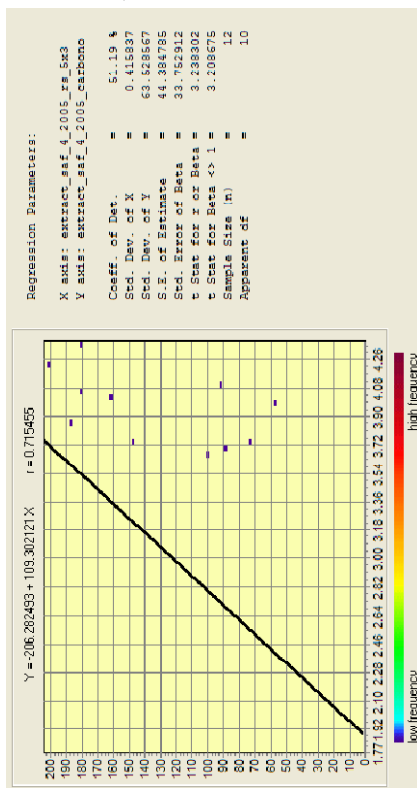


WDVI

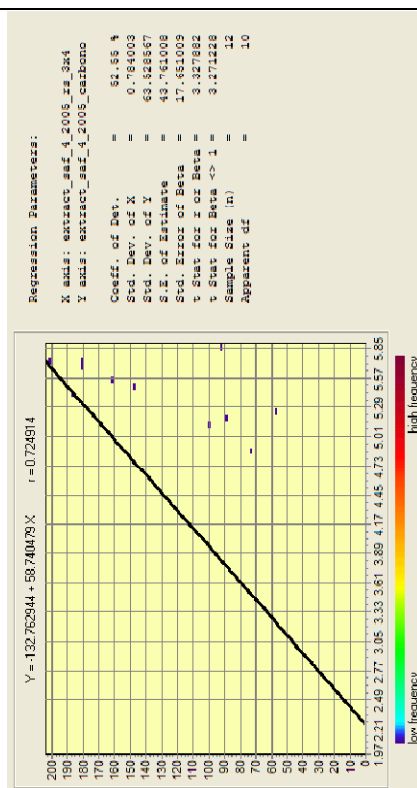
Anexo 32. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Razão Simples) 2005.



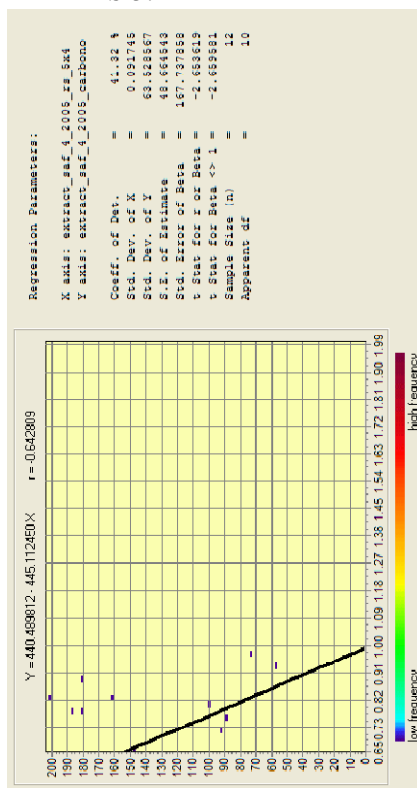
RS 5:3



RVI

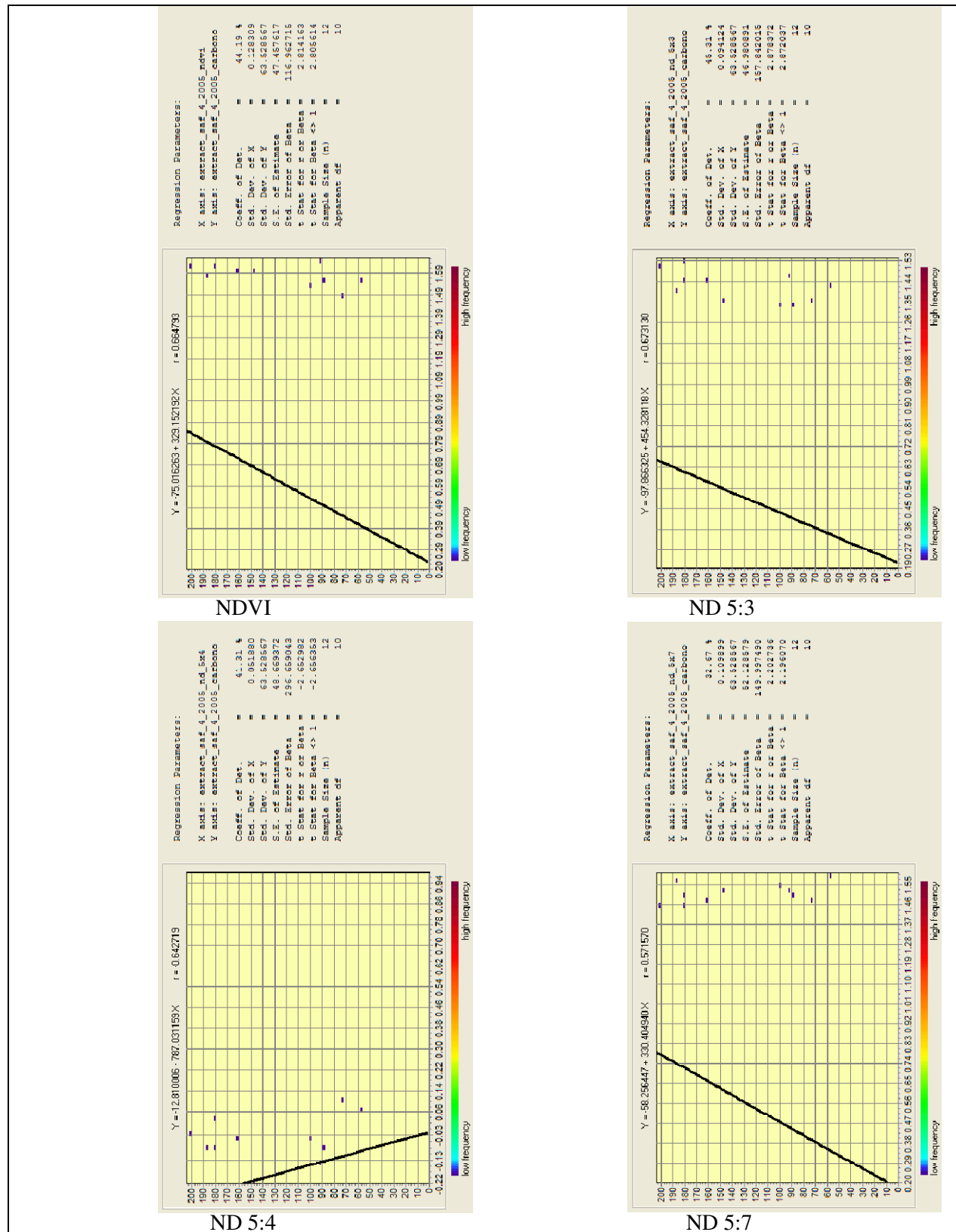


RS 3:4

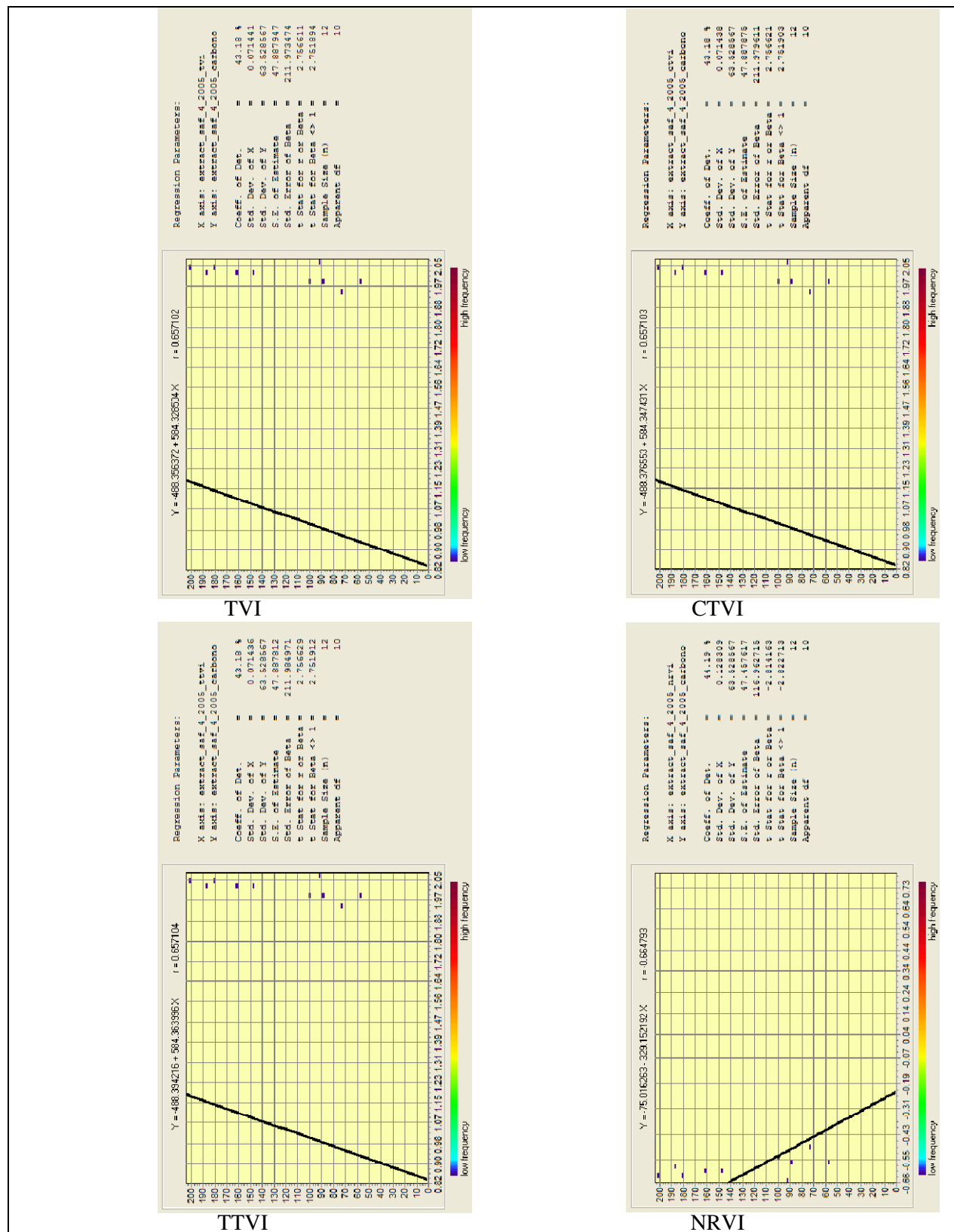


RS 5:4

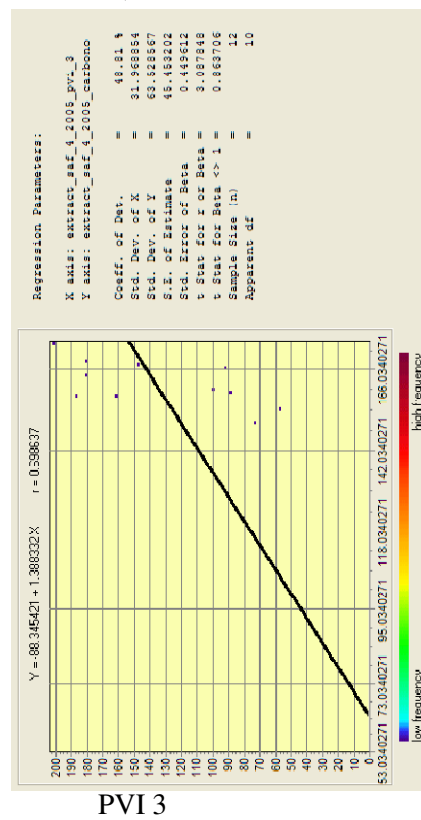
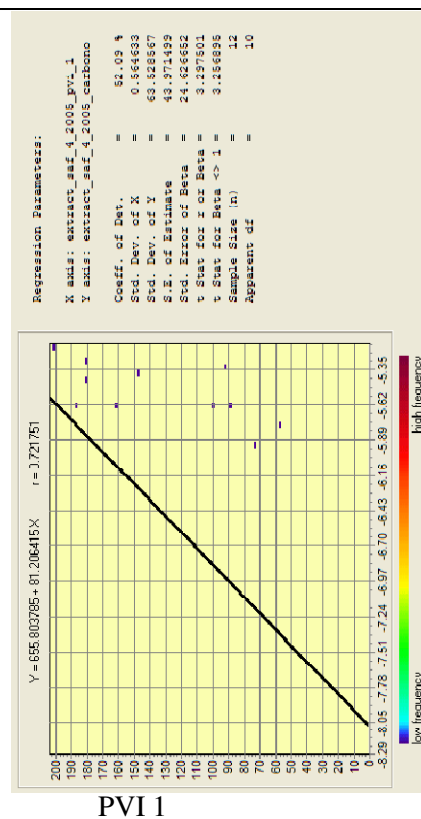
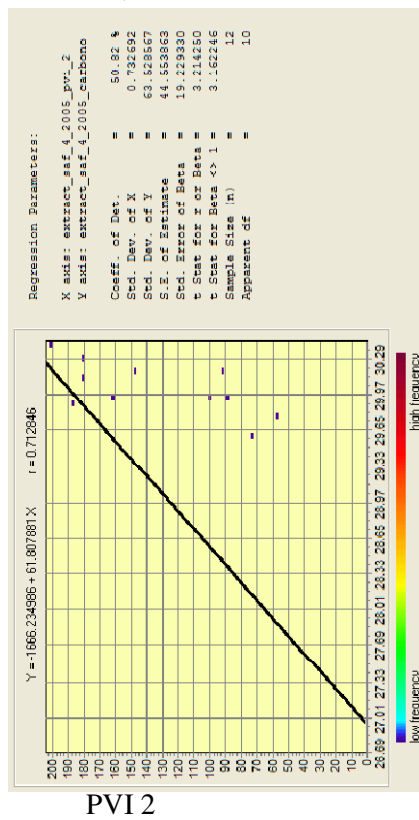
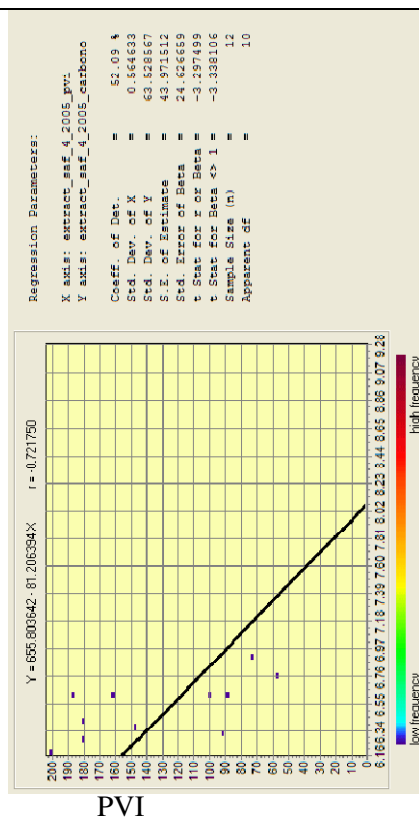
Anexo 33. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Normalizados) 2005.



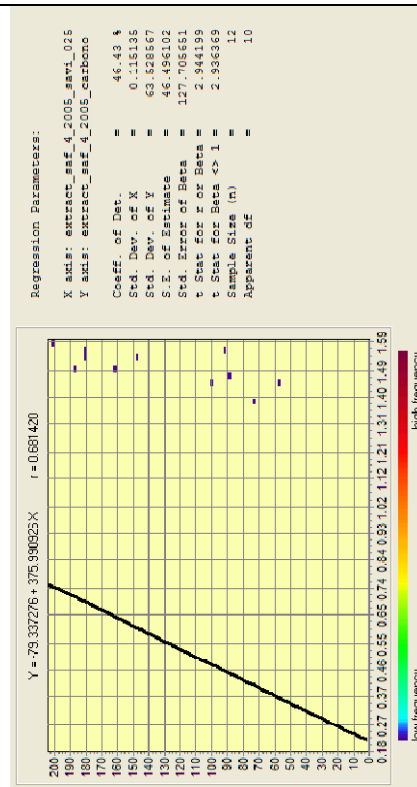
Anexo 34. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Normalizados) 2005.



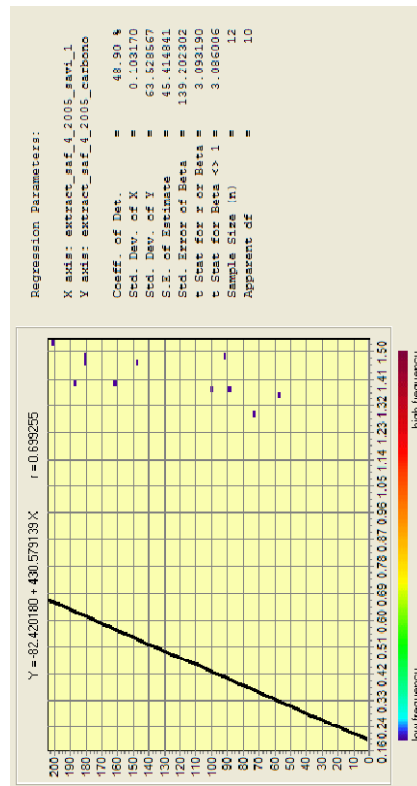
Anexo 35. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2005.



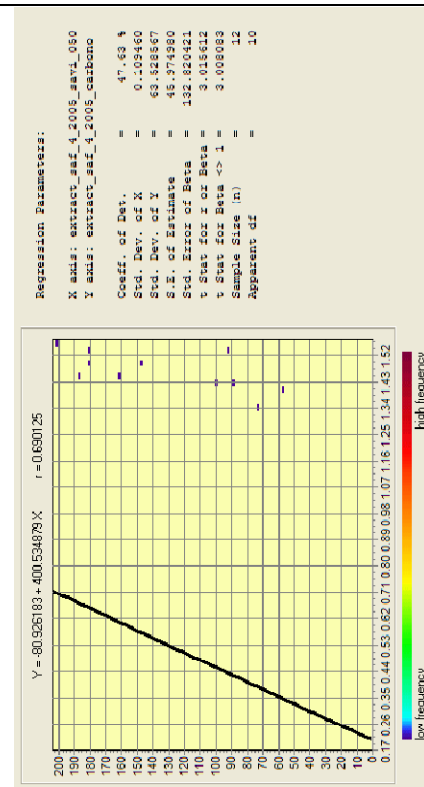
Anexo 36. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2005.



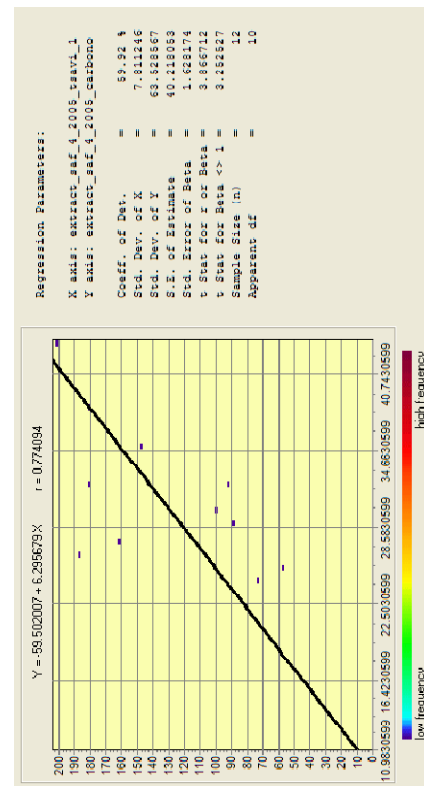
SAVI a



SAVI c

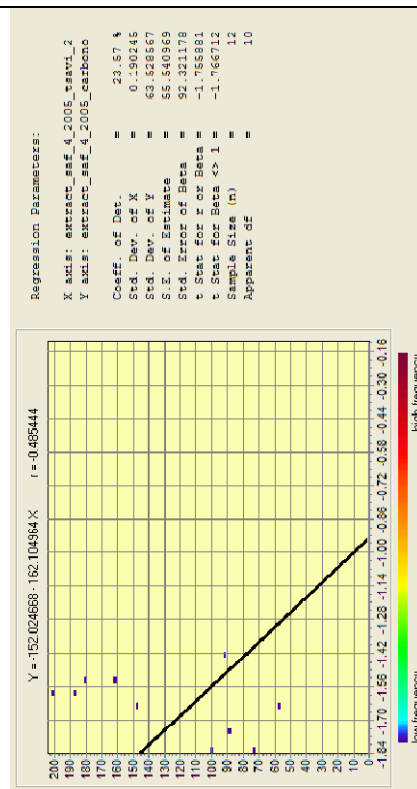


SAVI b

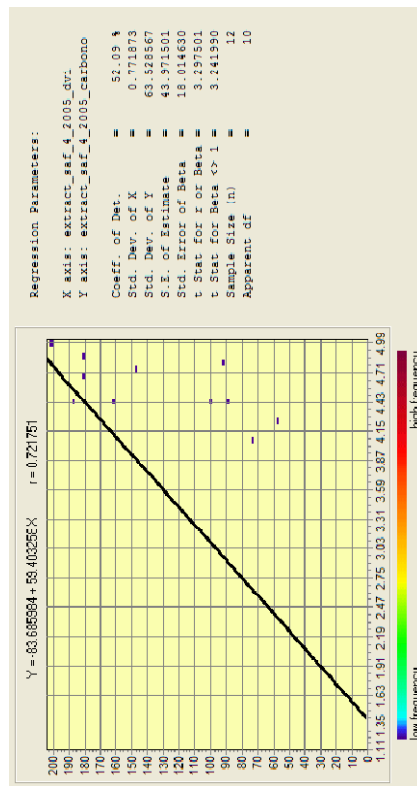


TSAVI 1

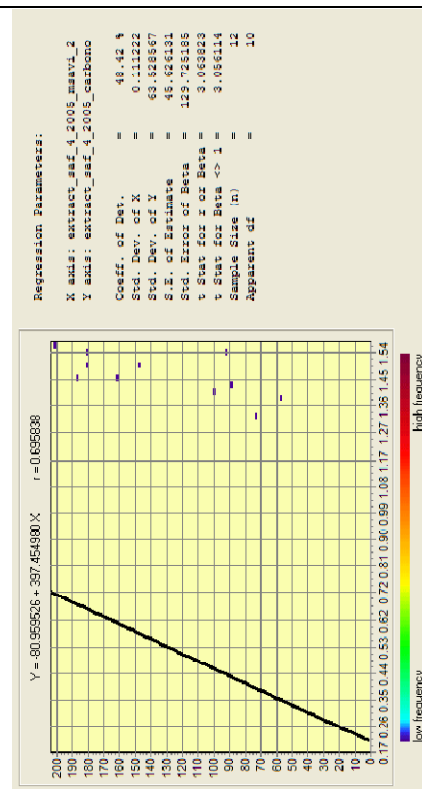
Anexo 37. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2005.



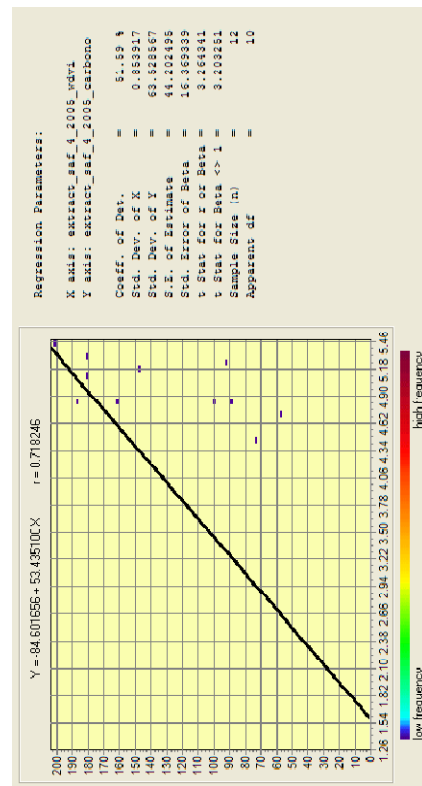
TSAVI 2



DVI

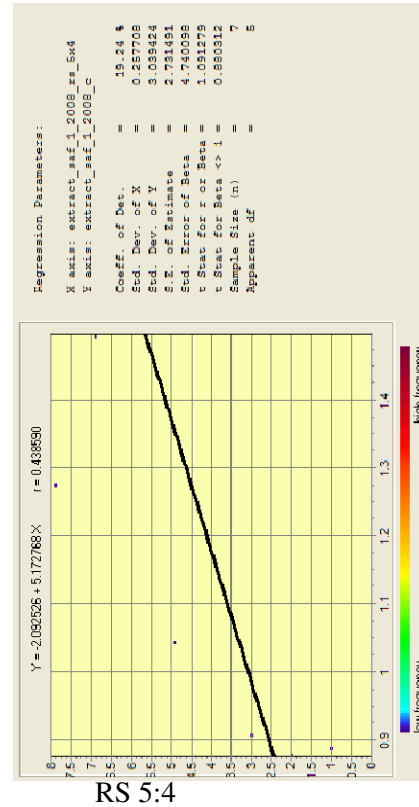
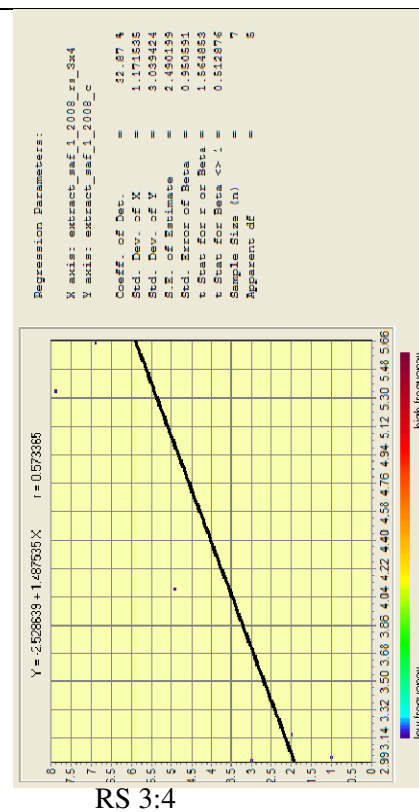
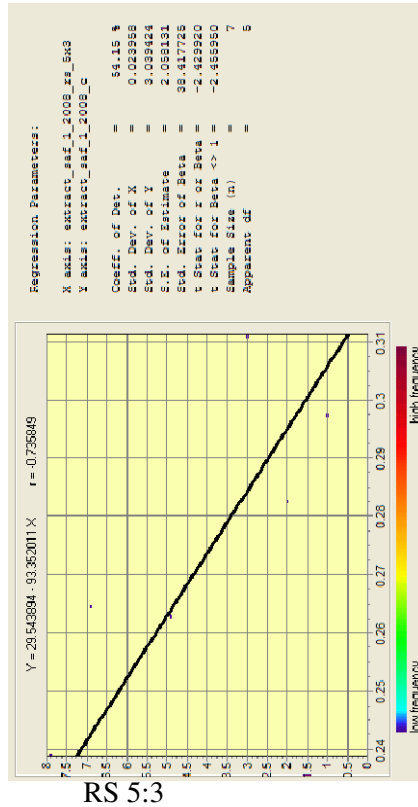
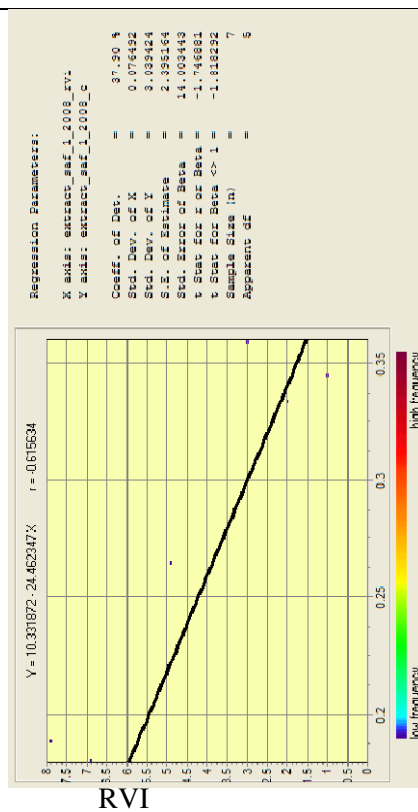


MSAVI 2

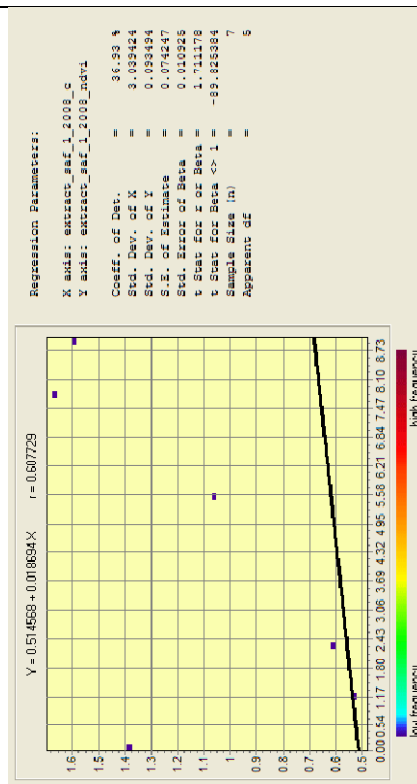


WdVI

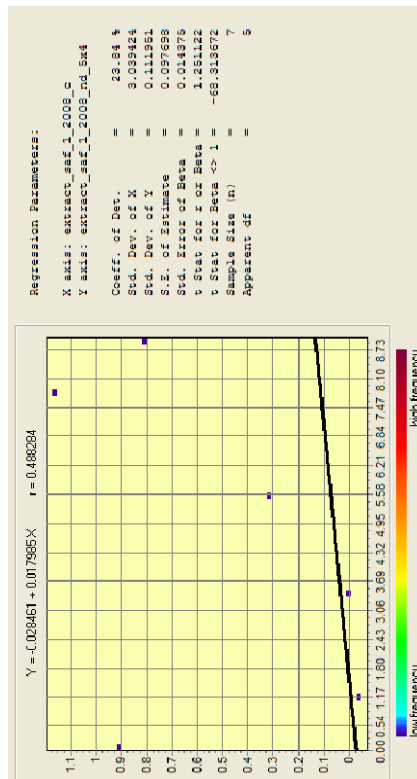
Anexo 38. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Razão Simples) 2008.



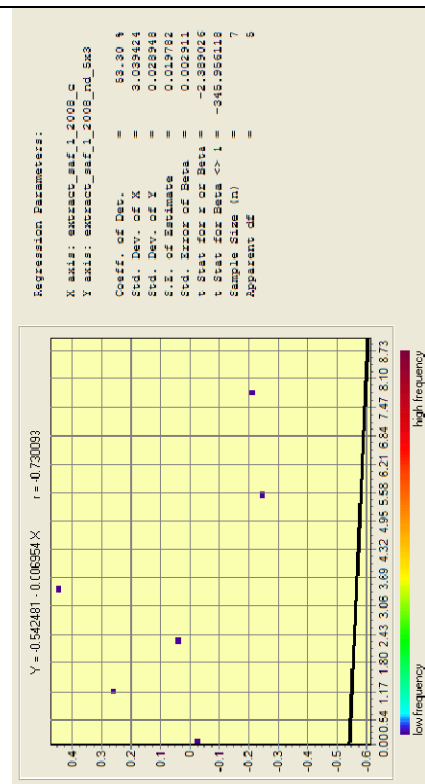
Anexo 39. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Normalizados) 2008.



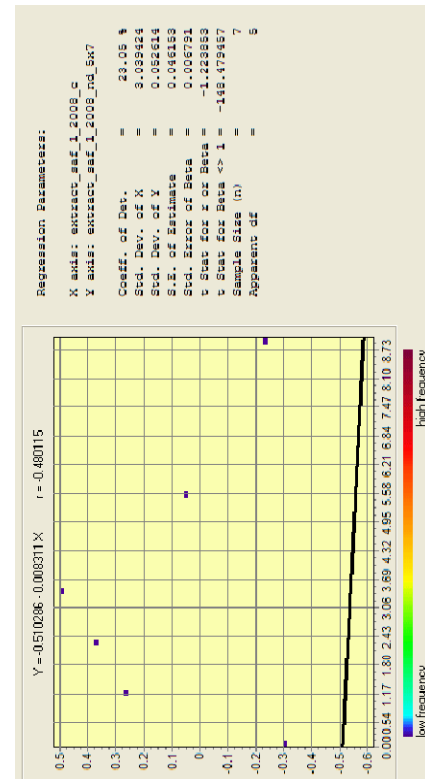
NDVI



ND 5:4

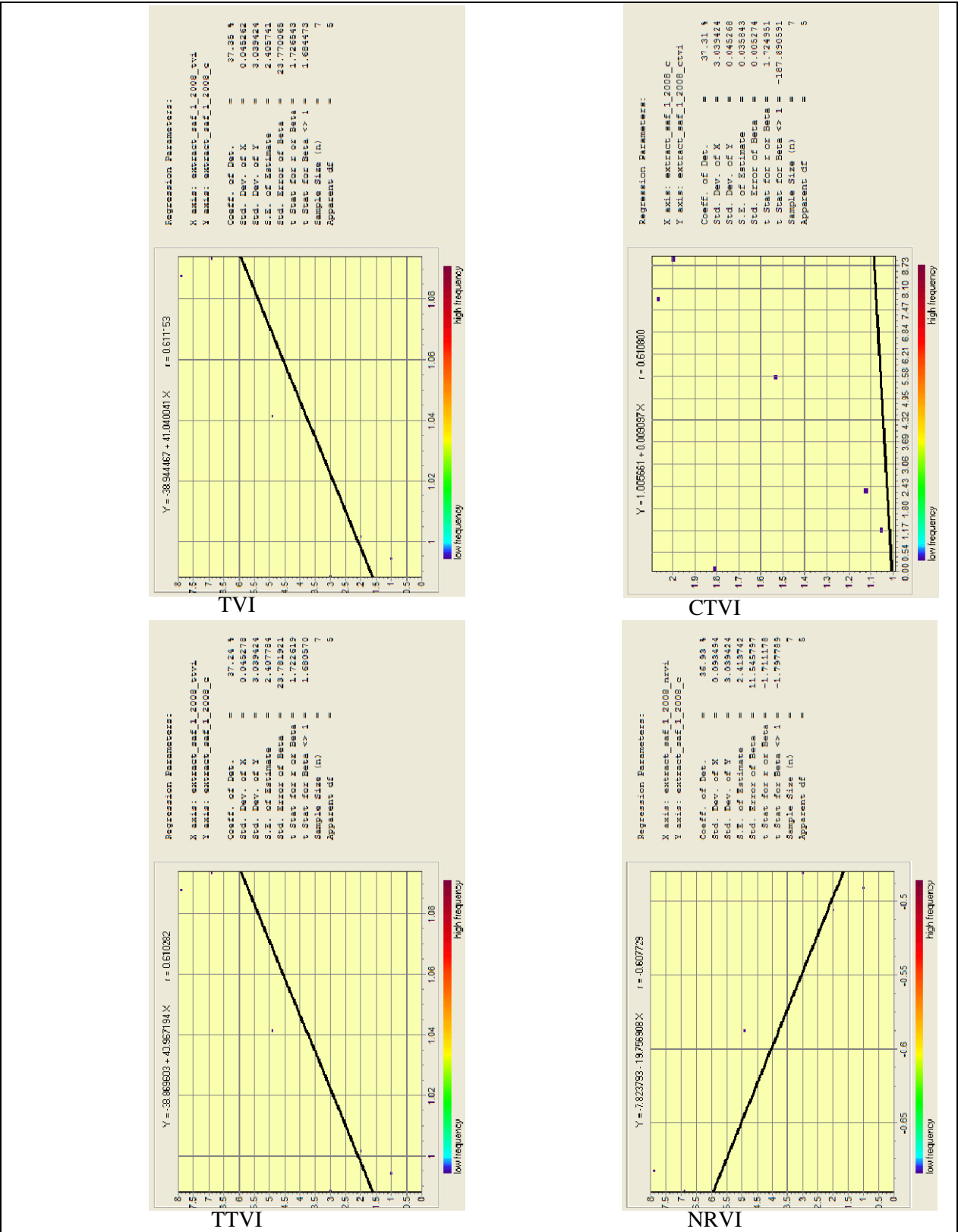


ND 5:3

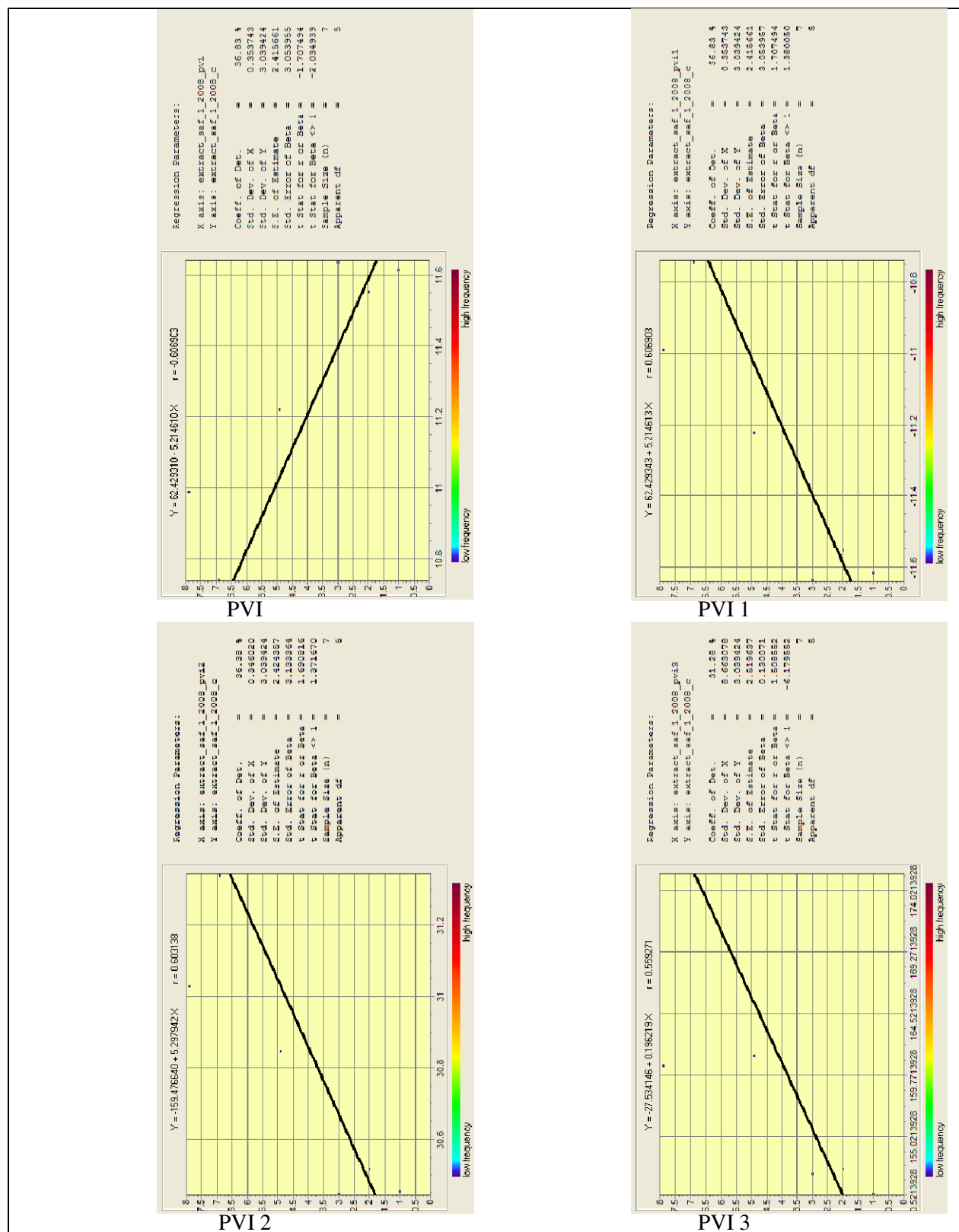


ND 5:7

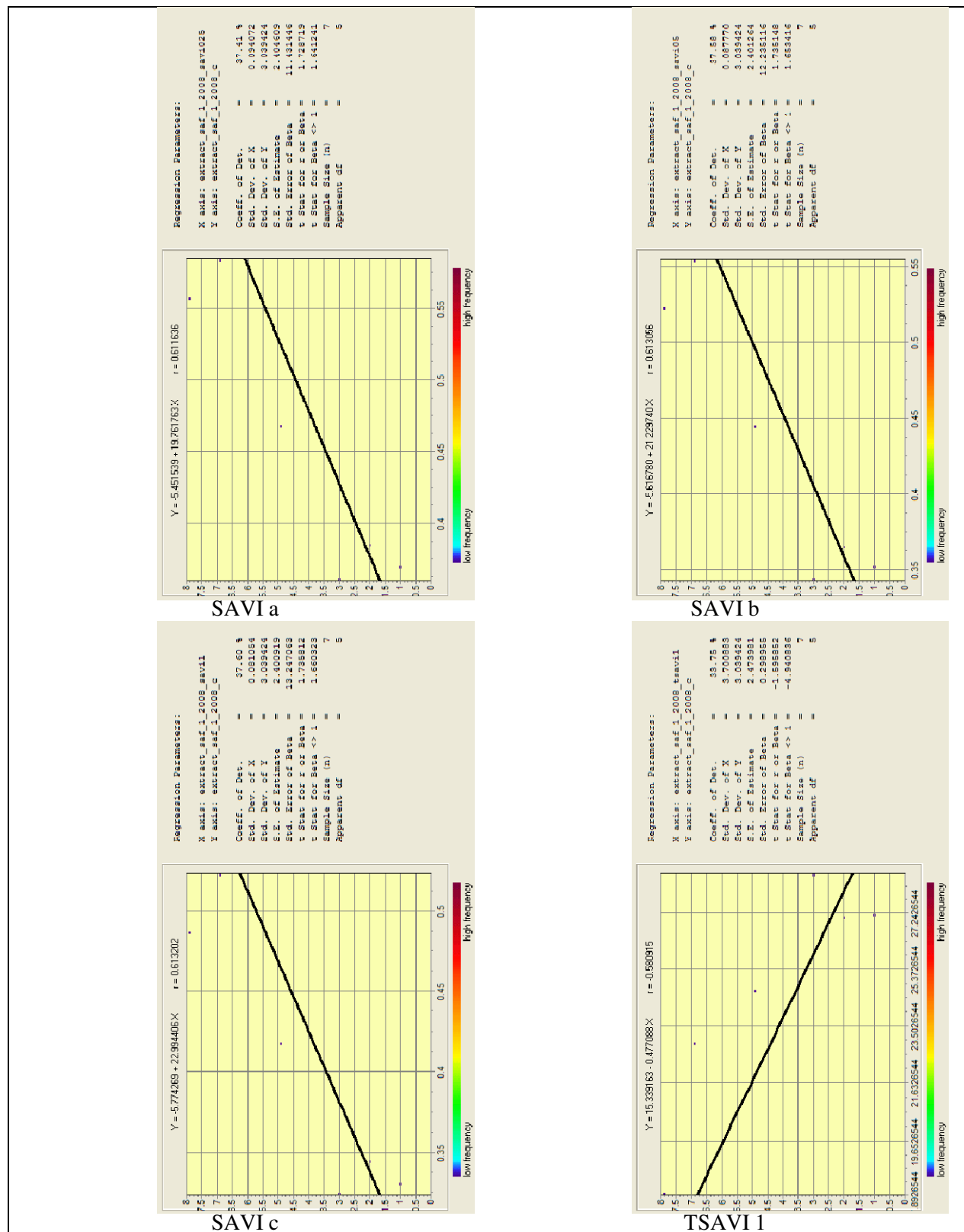
Anexo 40. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Normalizados) 2008.



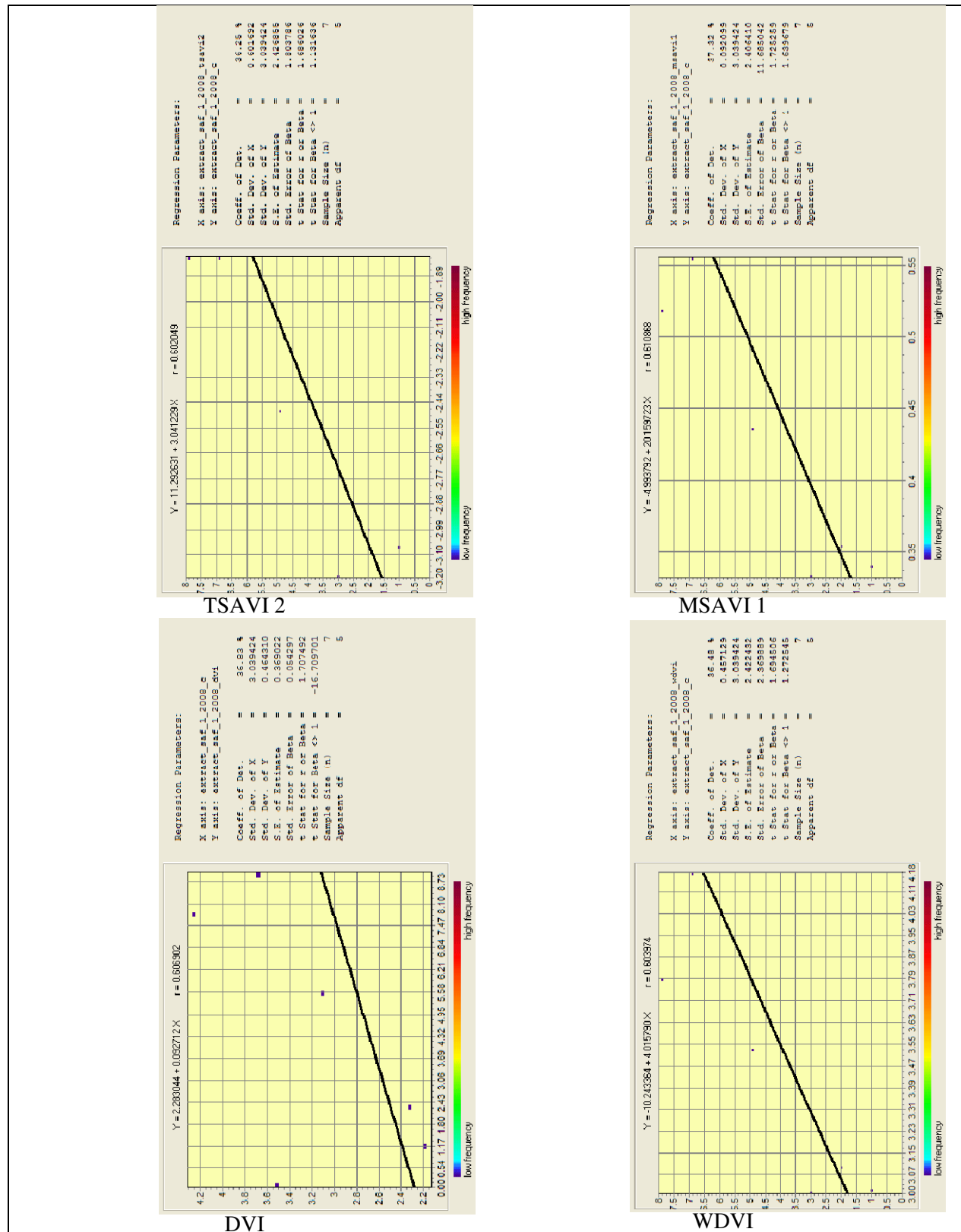
Anexo 41. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2008.



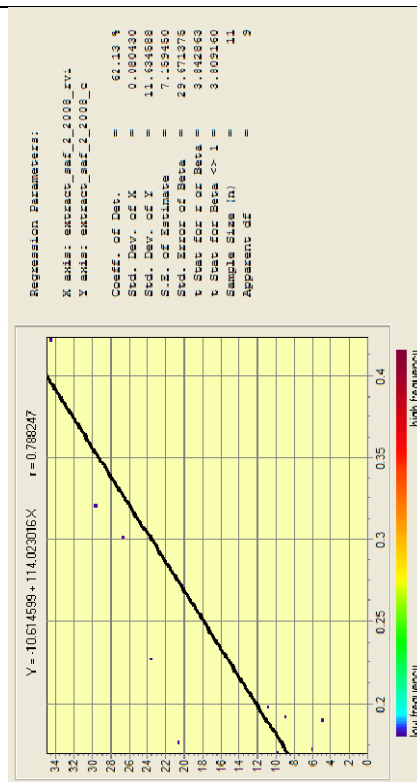
Anexo 42. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2008.



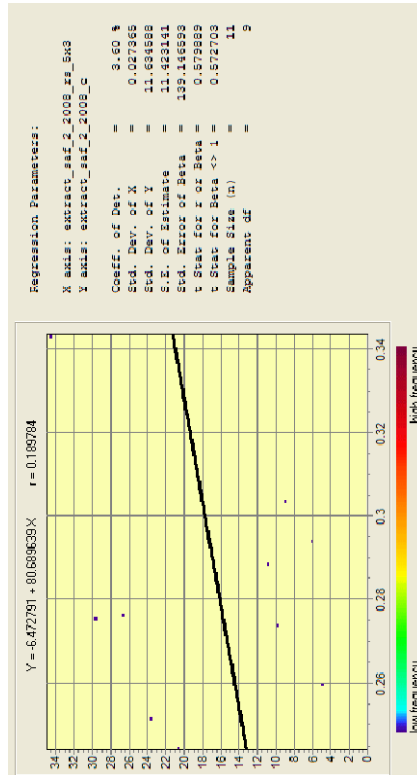
Anexo 43. Regressões entre o carbono estimado no SAF 1 e IV (Complexos) 2008.



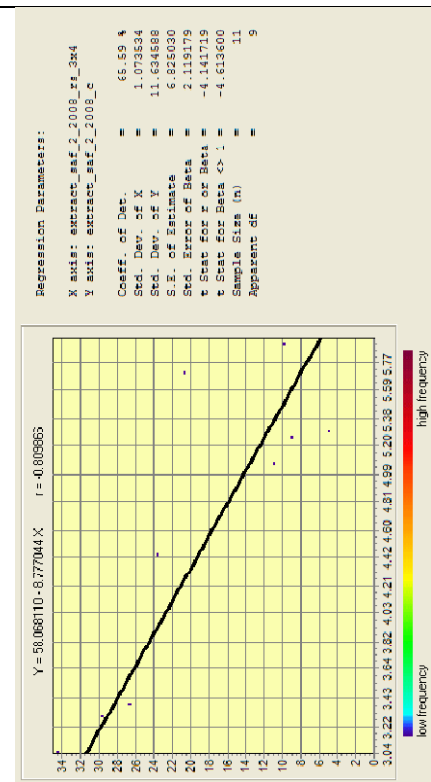
Anexo 44. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Razão Simples) 2008.



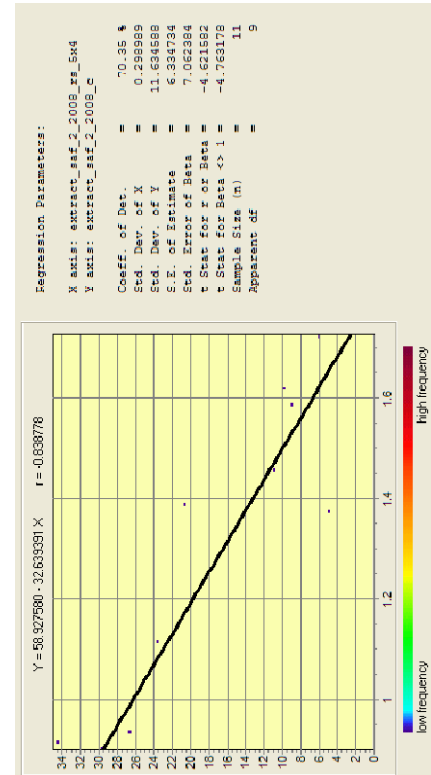
RVI



RS 5:3

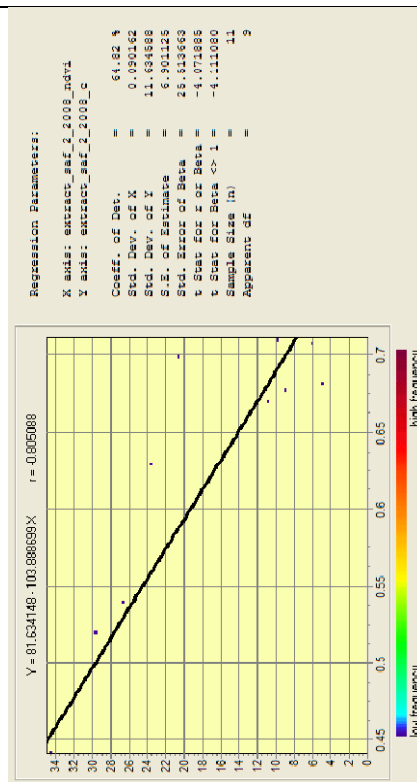


RS 3:4

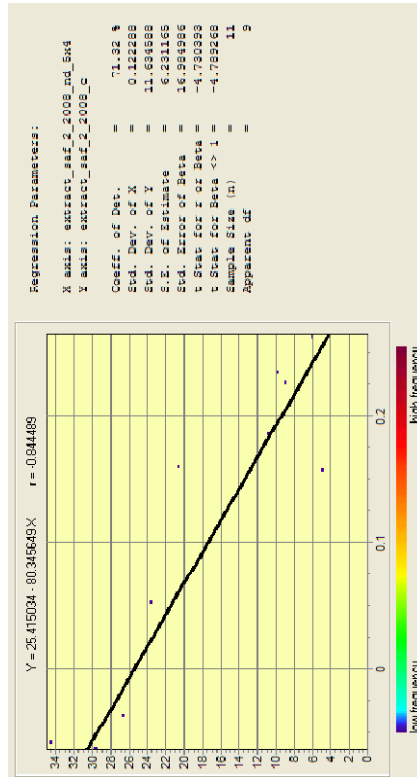


RS 5:4

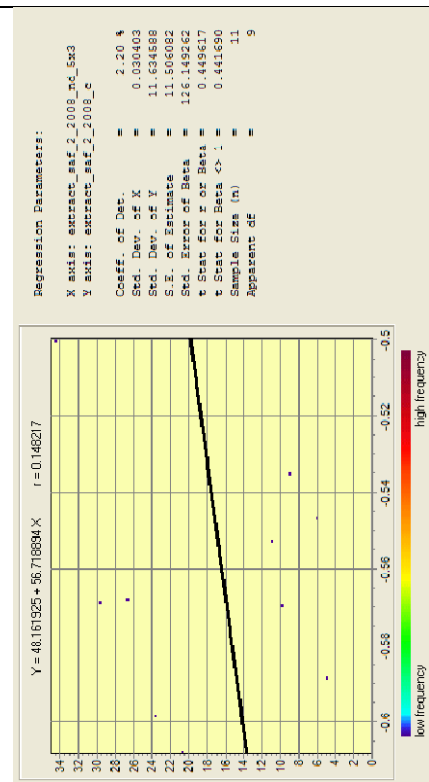
Anexo 45. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Normalizados) 2008.



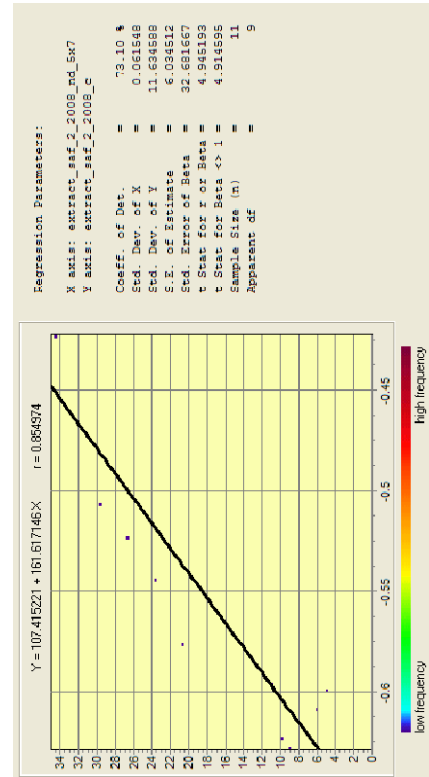
NDVI



ND 5:4

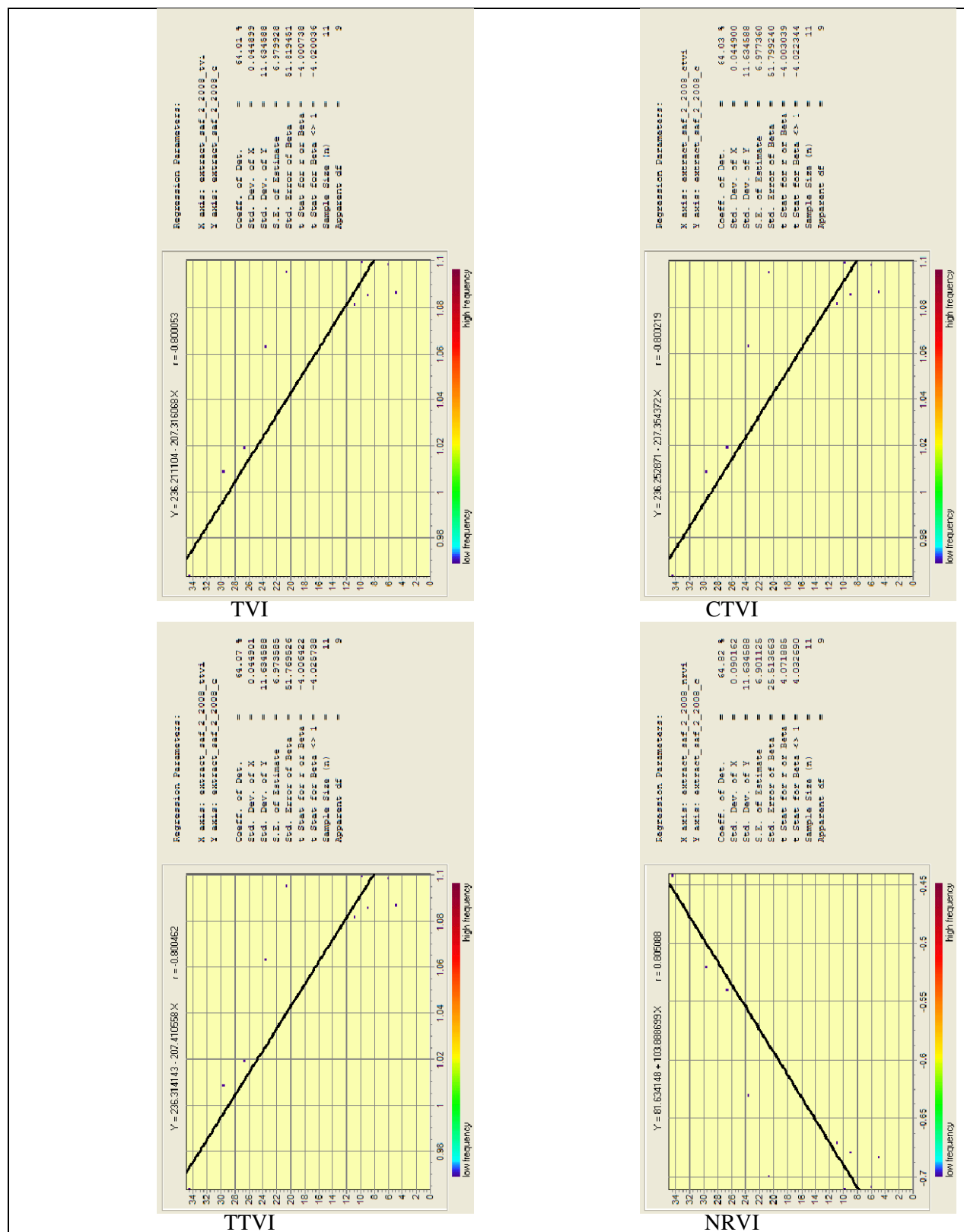


ND 5:3

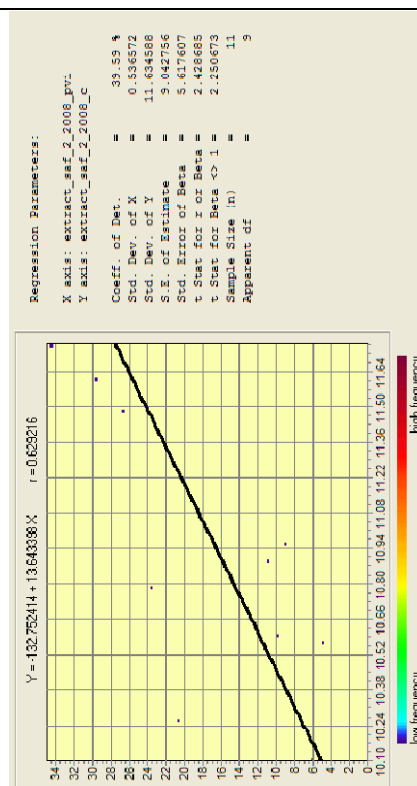


ND 5:7

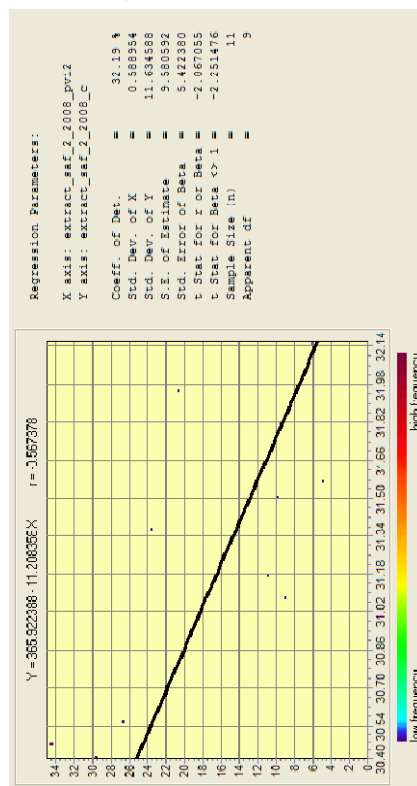
Anexo 46. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Normalizados) 2008.



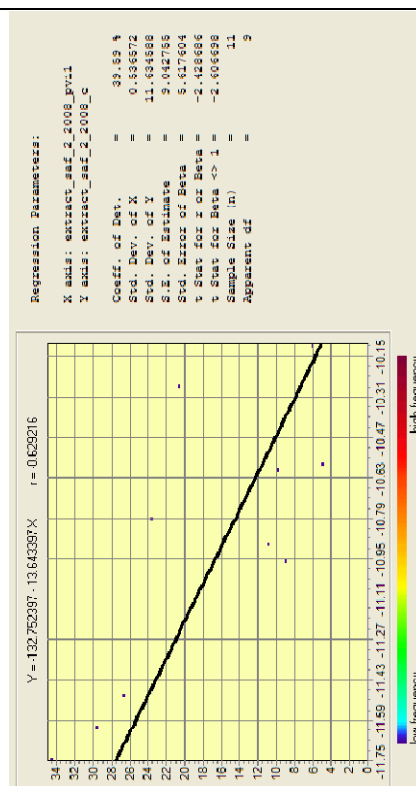
Anexo 47. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2008.



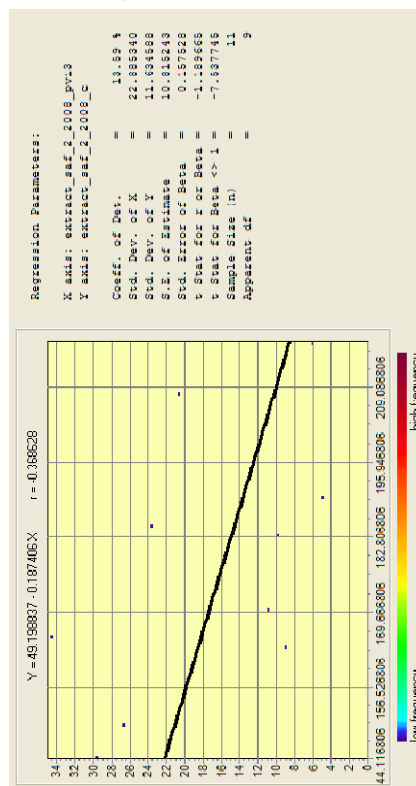
PVI



PVI2

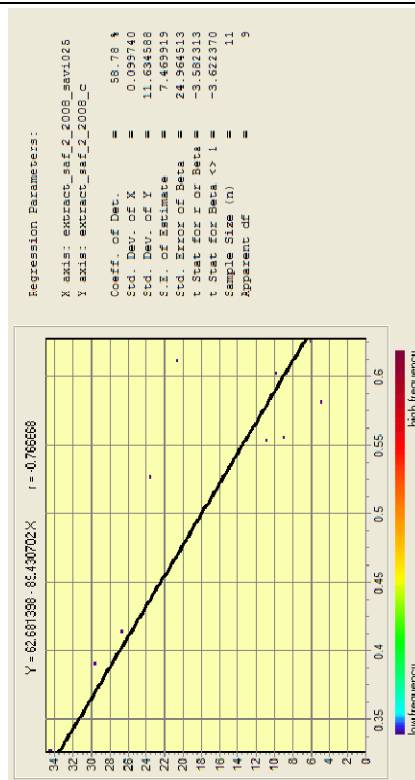


PVI 1

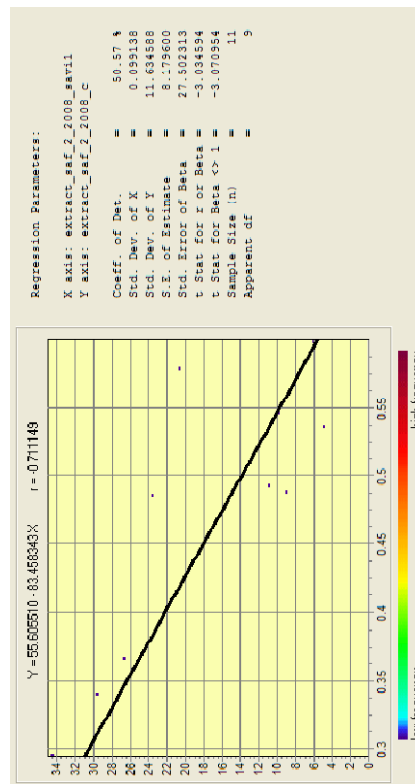


PVI 3

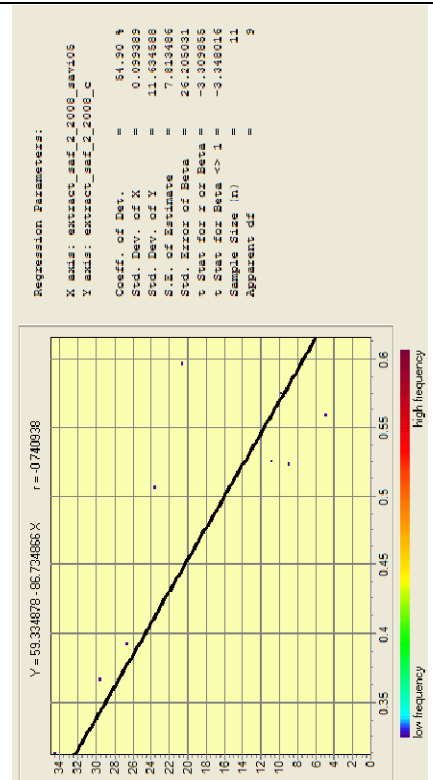
Anexo 48. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2008.



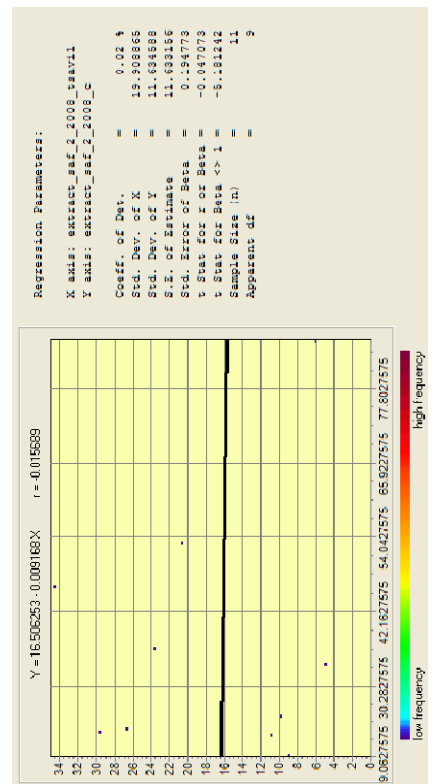
SAVI a



SAVI c

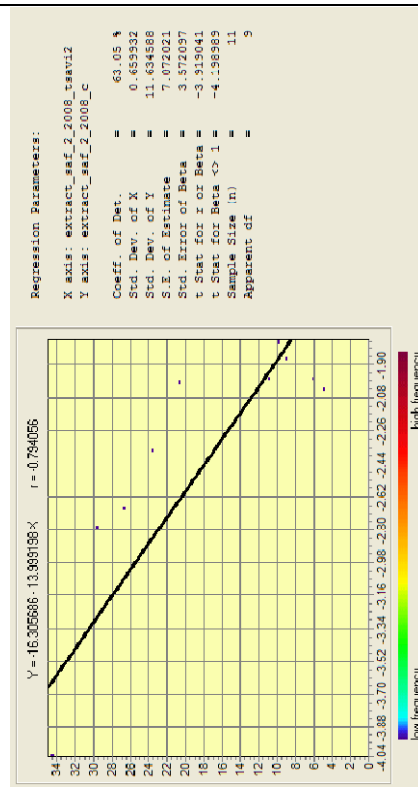


SAVI b

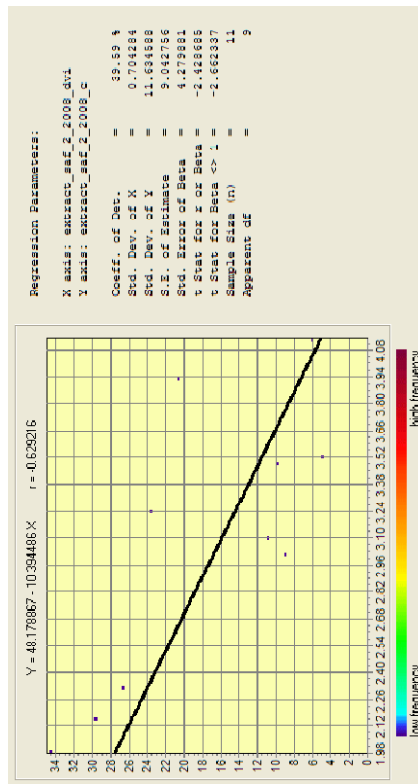


TSAVI 1

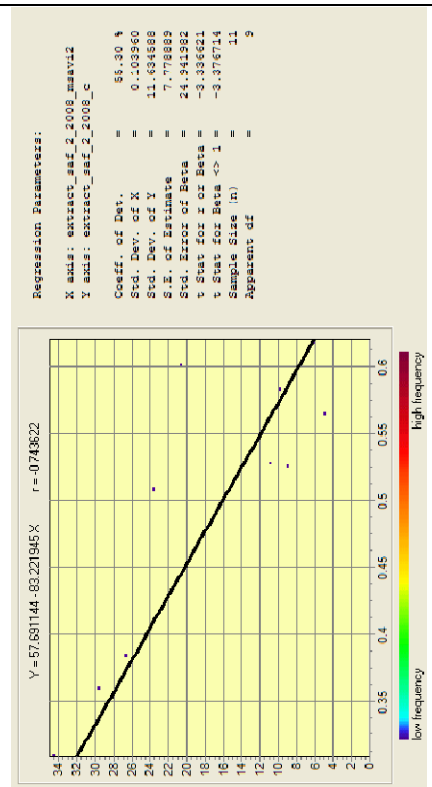
Anexo 49. Regressões entre o carbono estimado no SAF 2 e IV (Complexos) 2008.



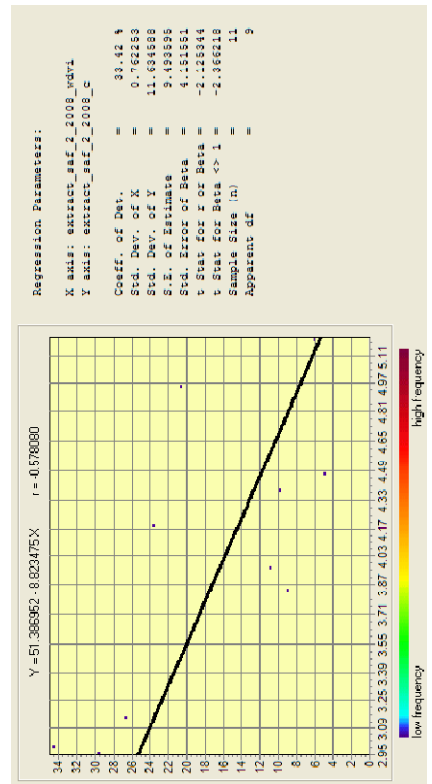
TSAVI 2



DVI

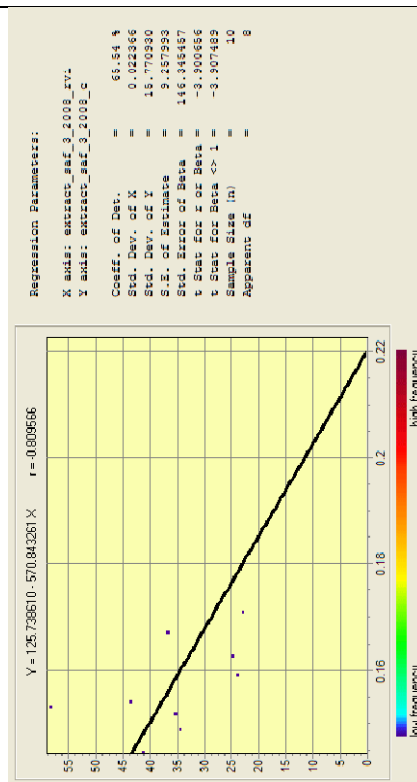


MSAVI 2

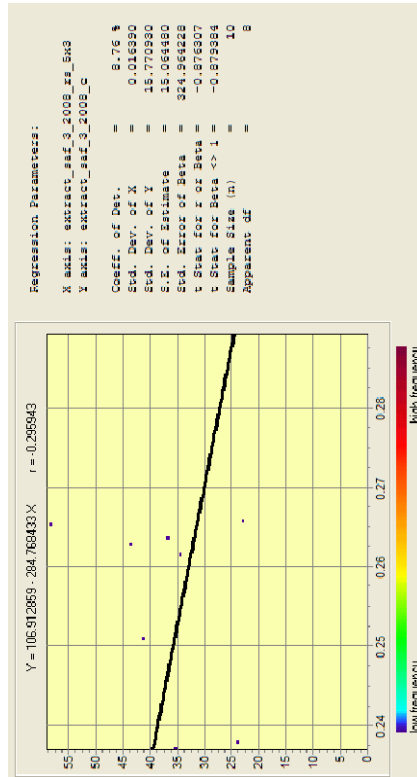


WDVI

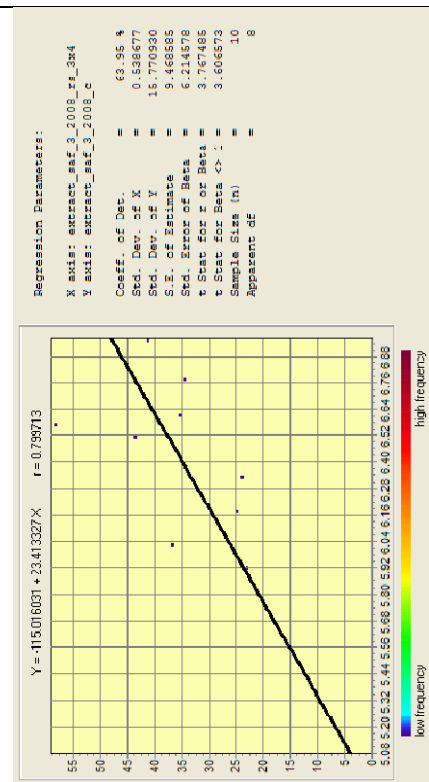
Anexo 50. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Razão Simples) 2008.



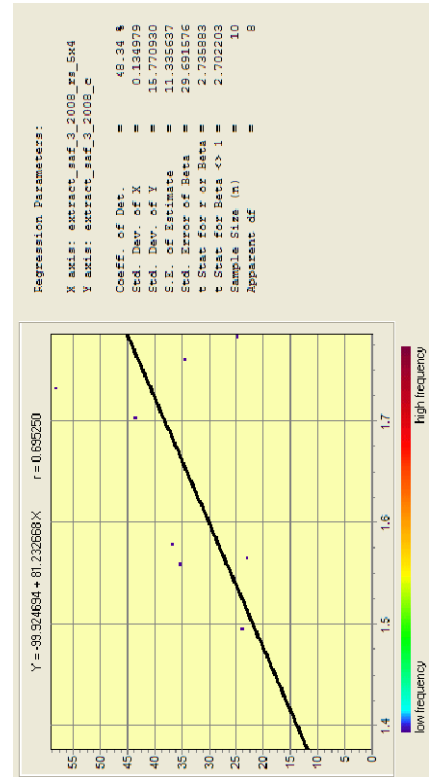
RVI



RS 5:3

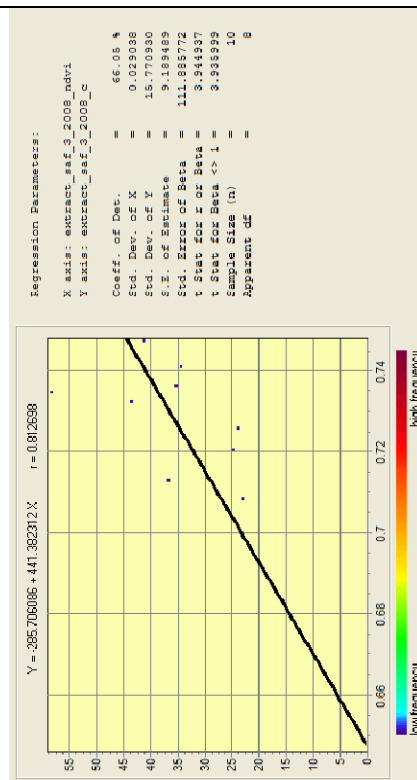


RS 3:4

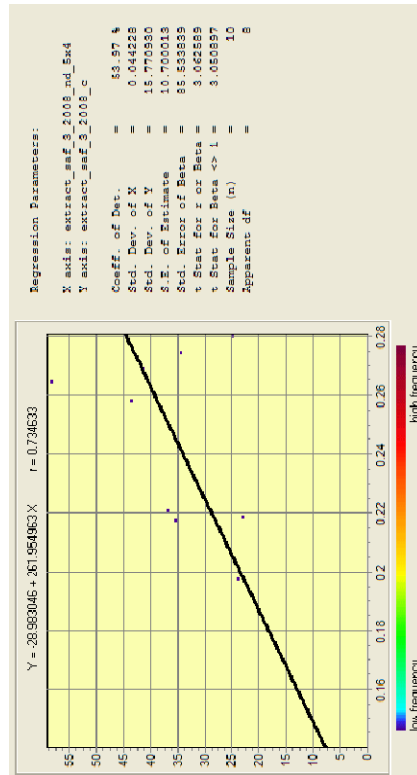


RS 5:4

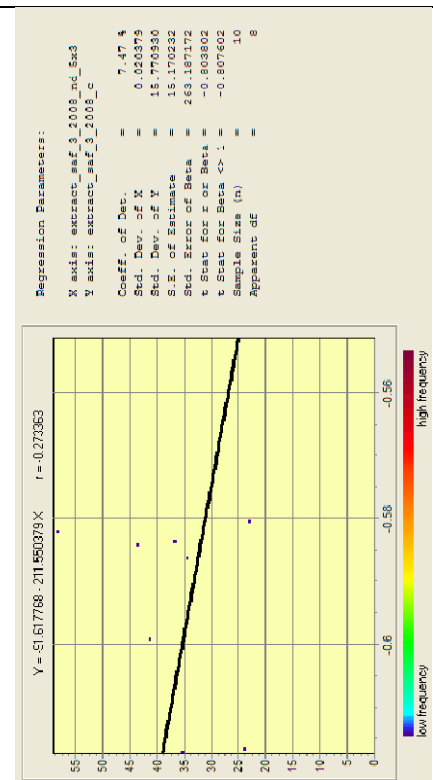
Anexo 51. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Normalizados) 2008.



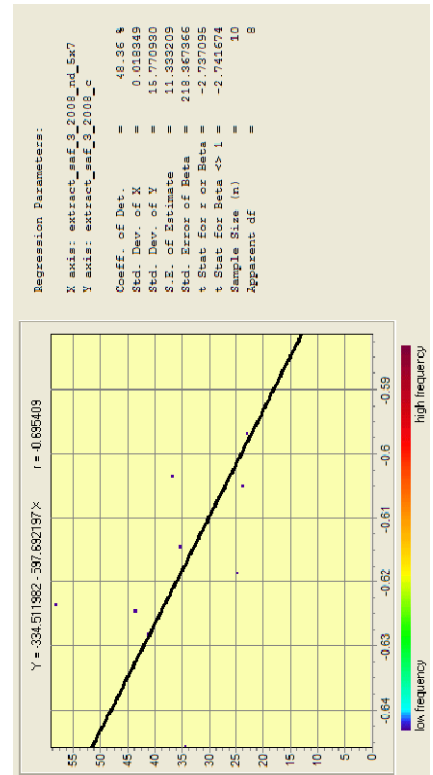
NDVI



ND 5:4

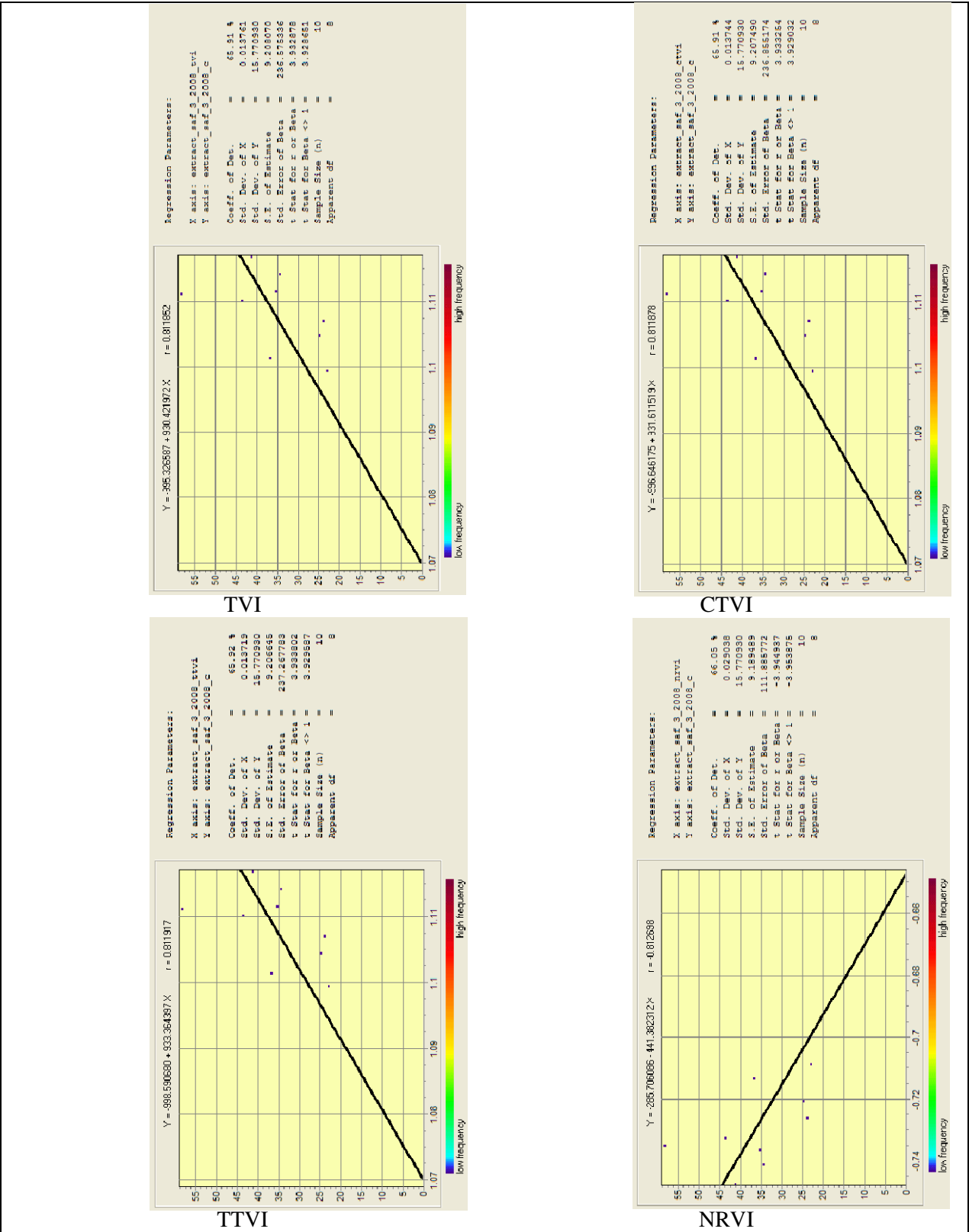


ND 5:3

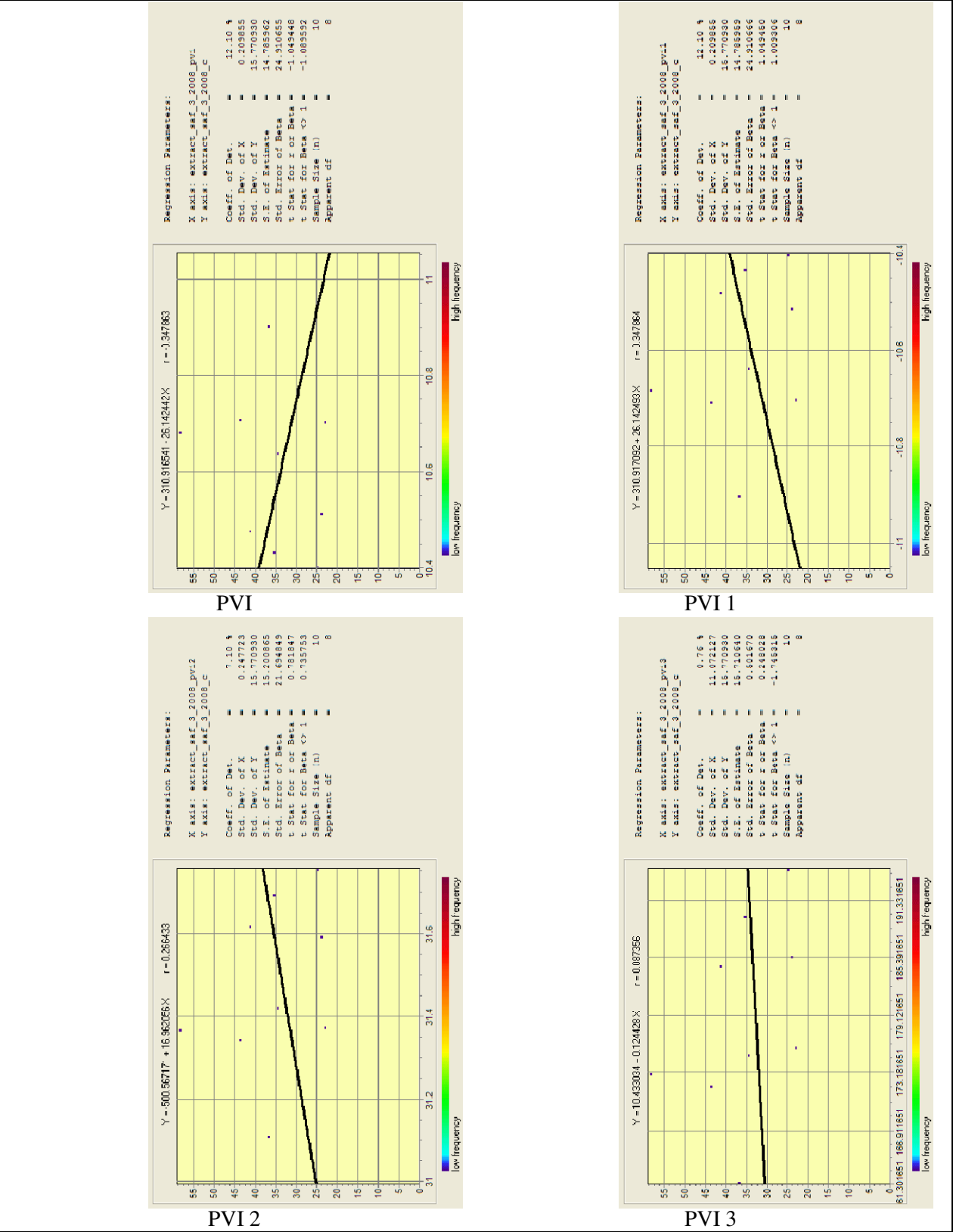


ND 5:7

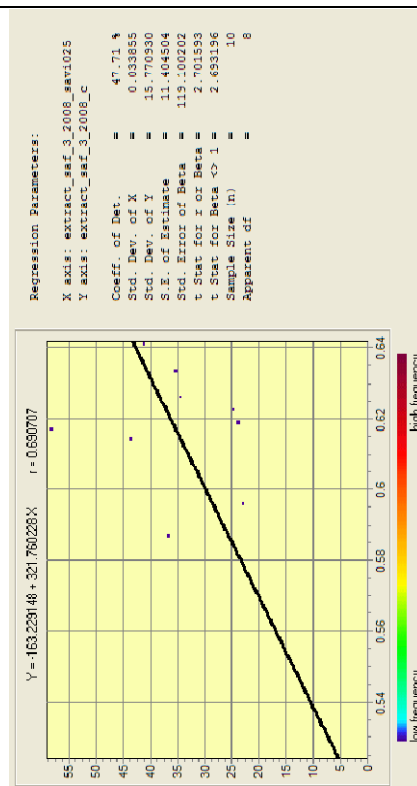
Anexo 52. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Normalizados) 2008.



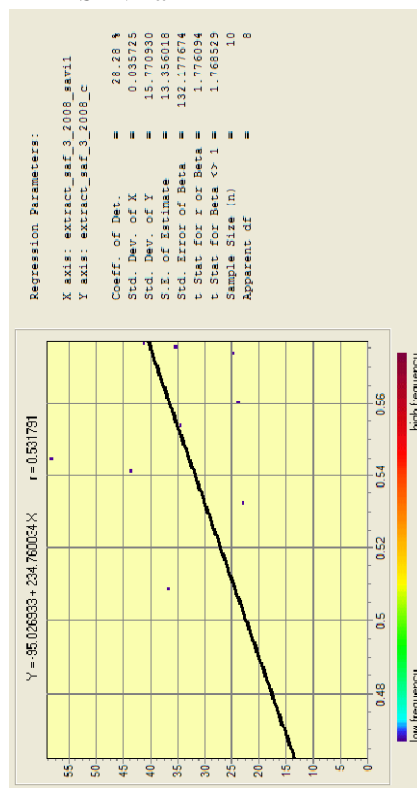
Anexo 53. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2008.



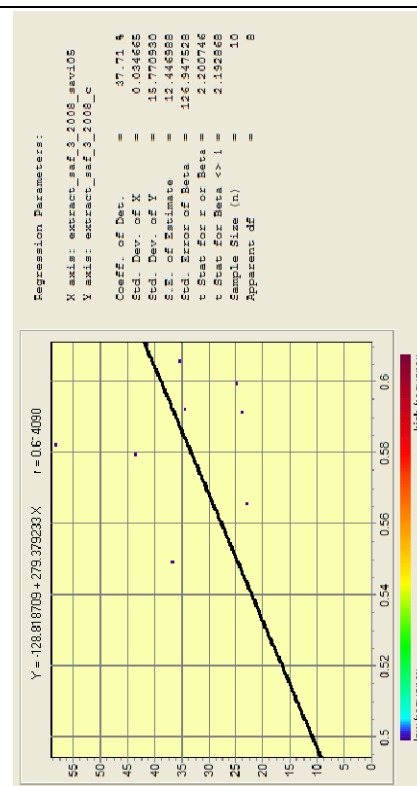
Anexo 54. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2008.



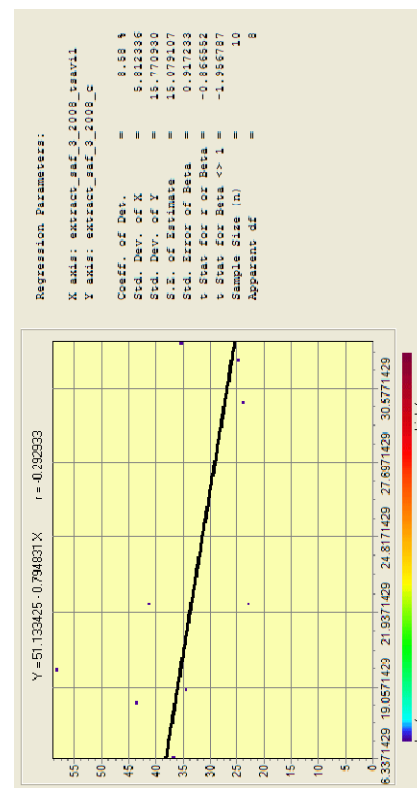
SAVI a



SAVI c

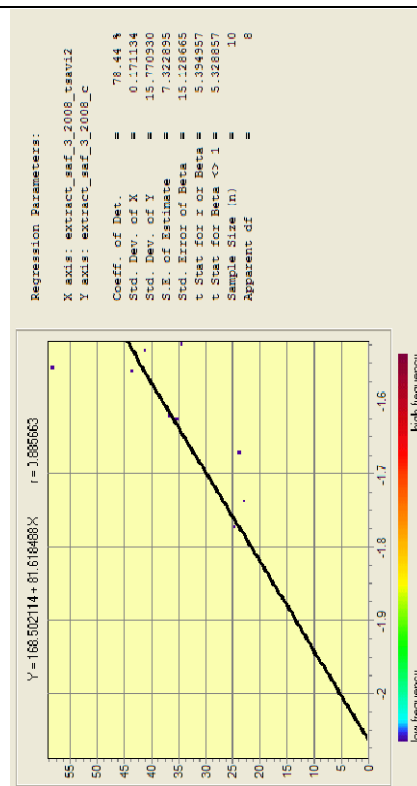


SAVI b

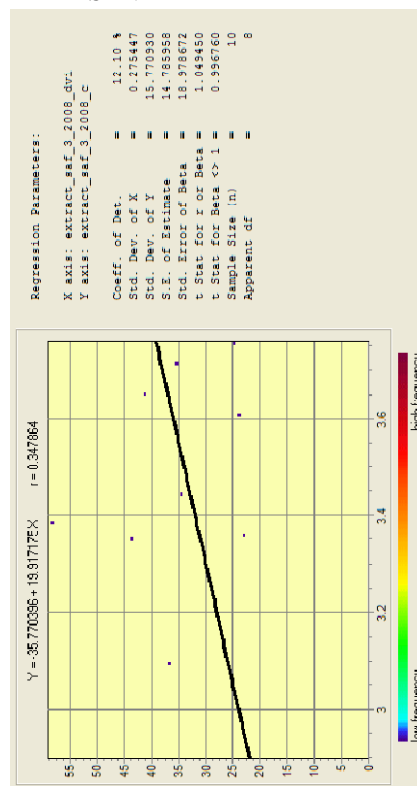


TSAVI 1

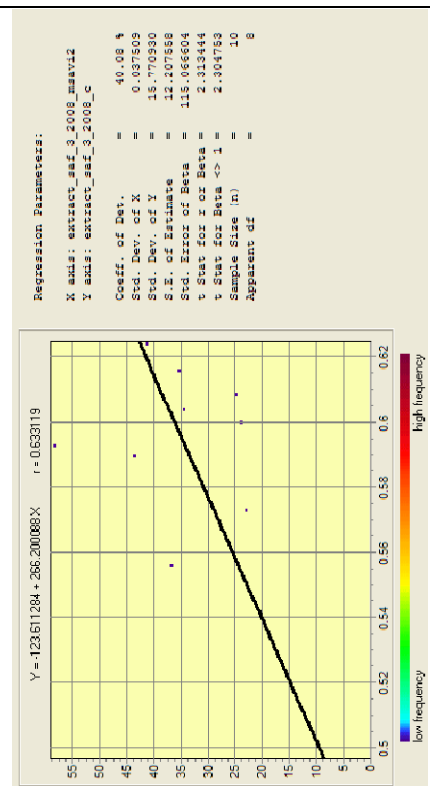
Anexo 55. Regressões entre o carbono estimado no SAF 3 e IV (Complexos) 2008.



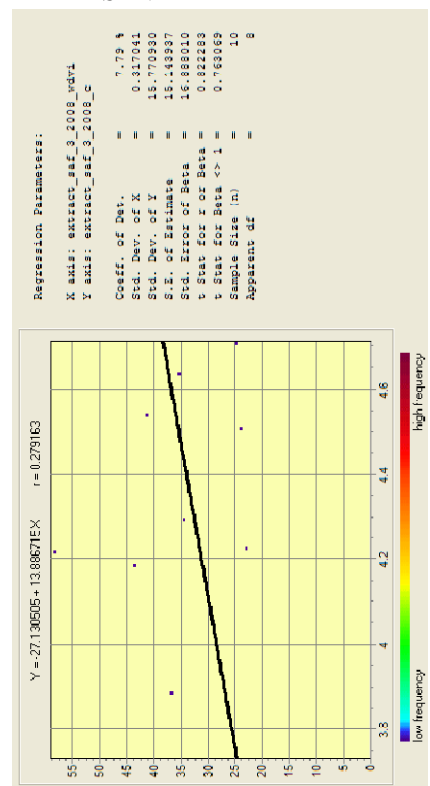
TSAVI 2



DVI

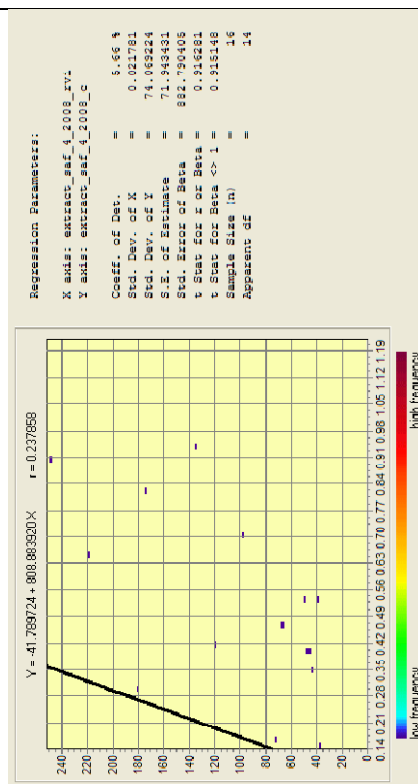


MSAVI 2

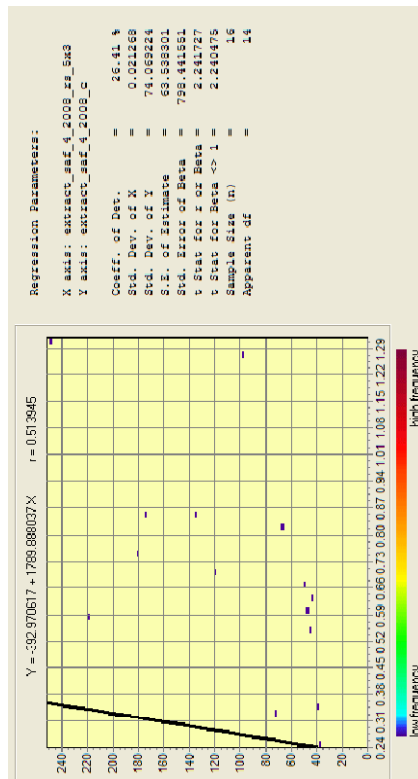


WDVI

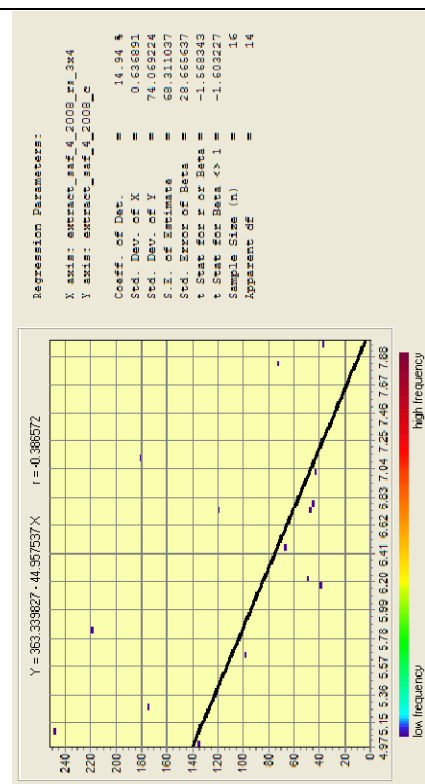
Anexo 56. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Razão Simples) 2008.



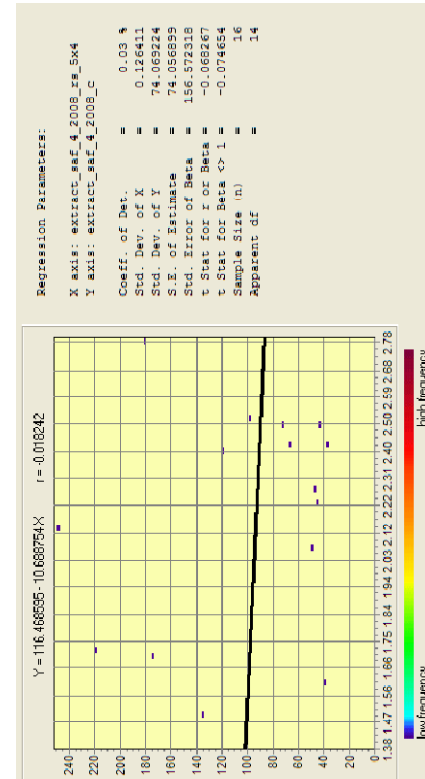
RVI



RS 5:3

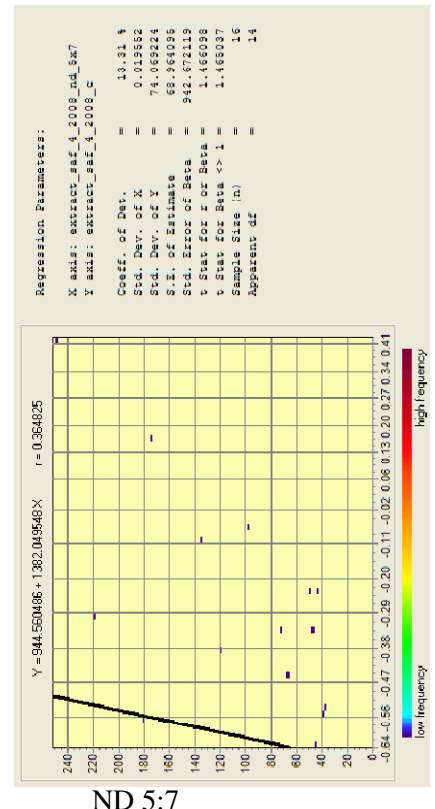
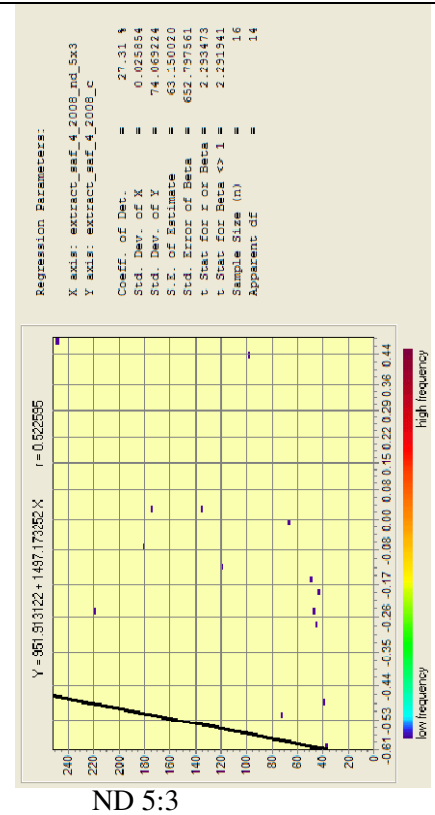
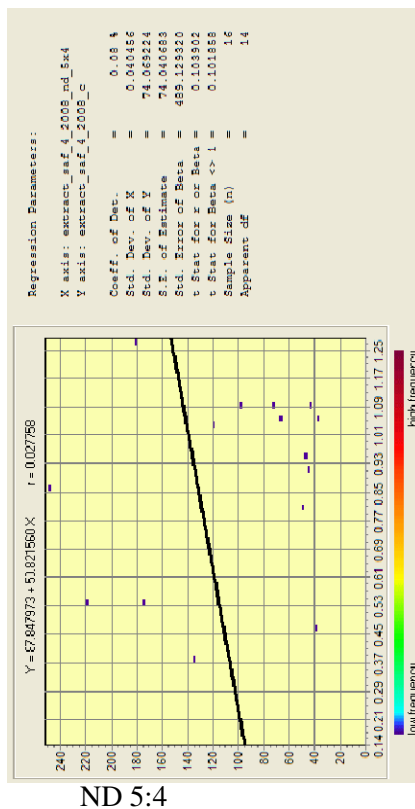
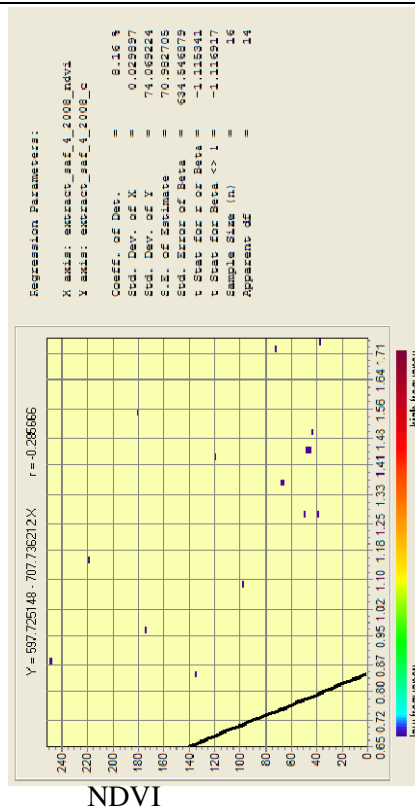


RS 3:4

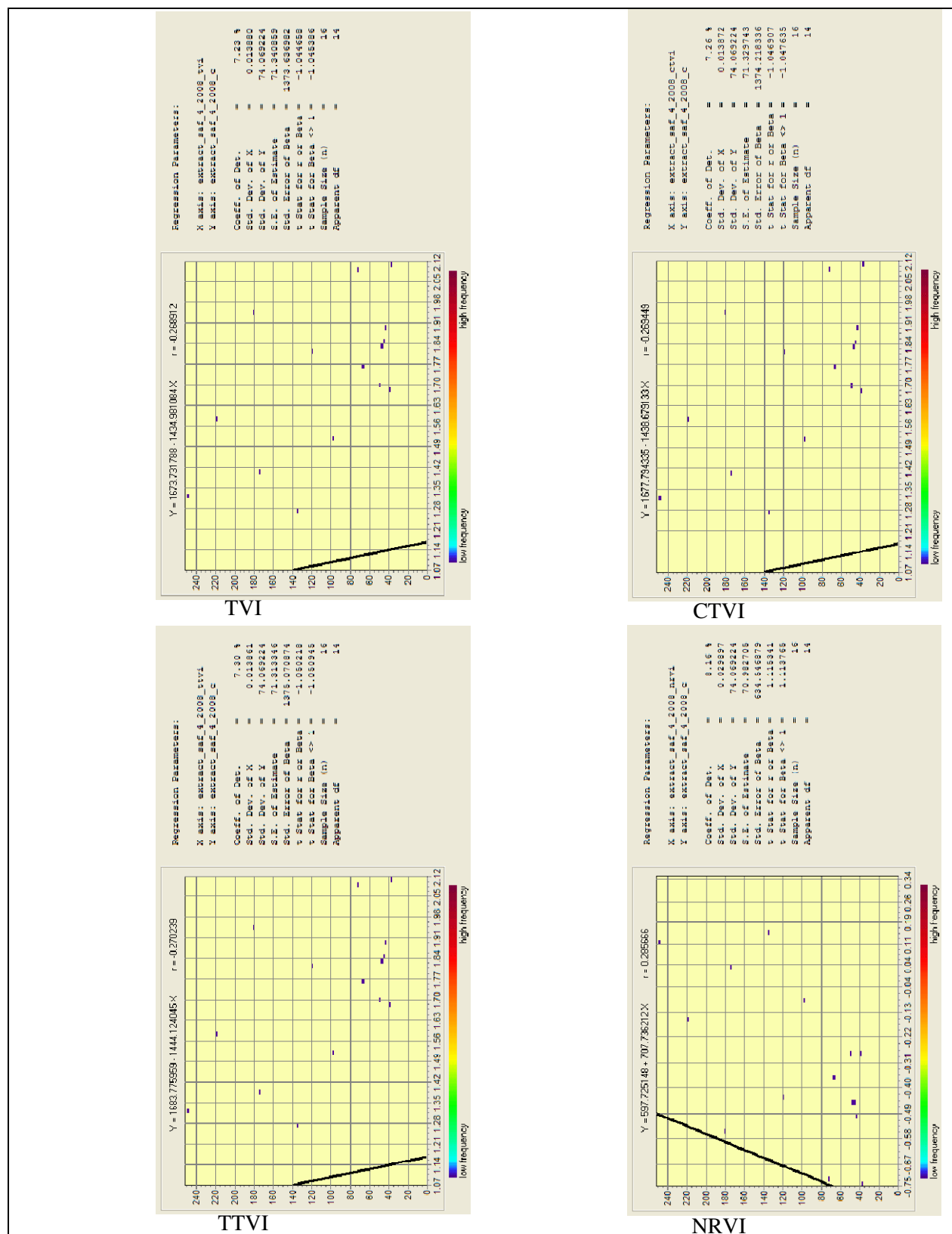


RS 5:4

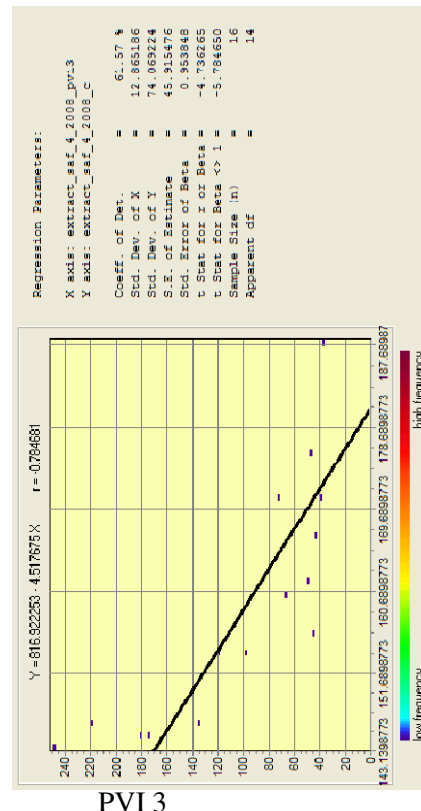
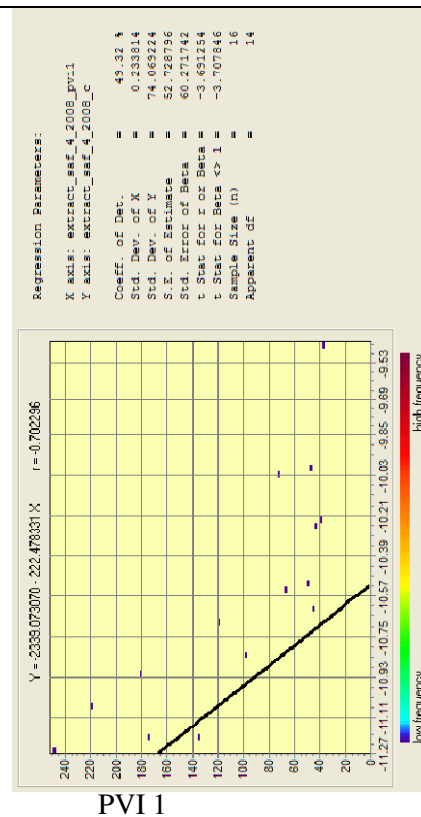
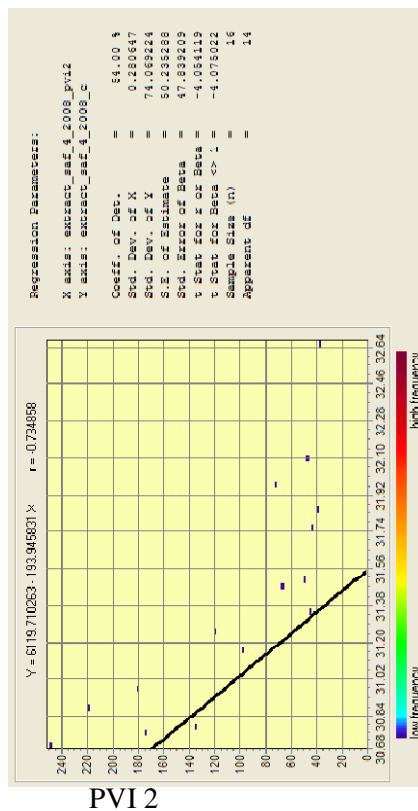
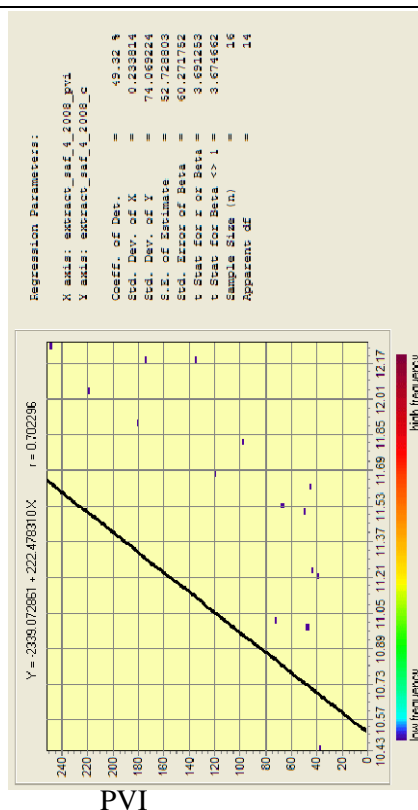
Anexo 57. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Normalizados) 2008.



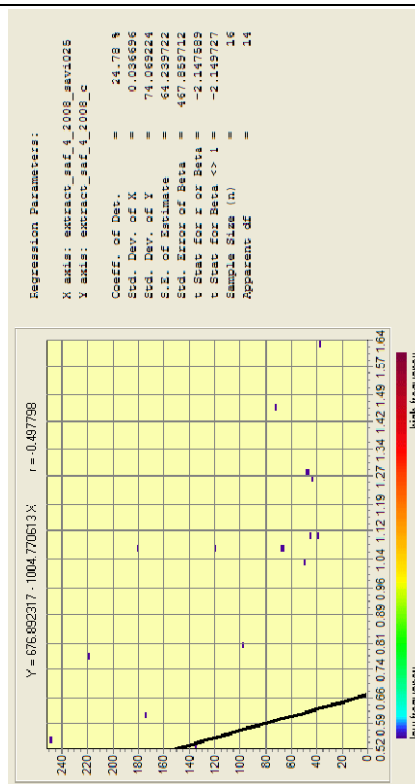
Anexo 58. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Normalizados) 2008.



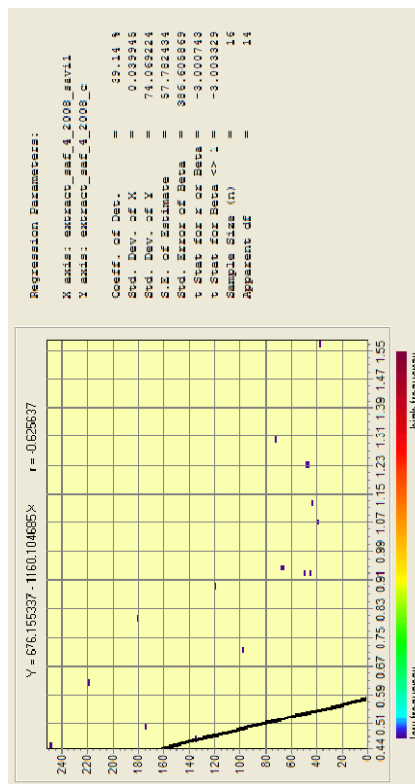
Anexo 59. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2008.



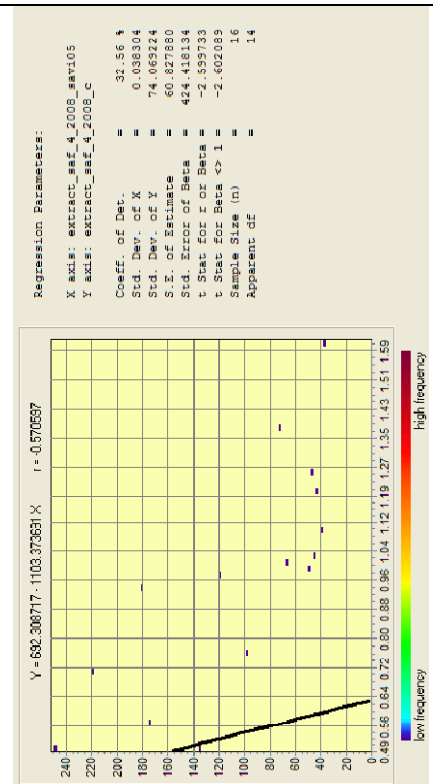
Anexo 60. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2008.



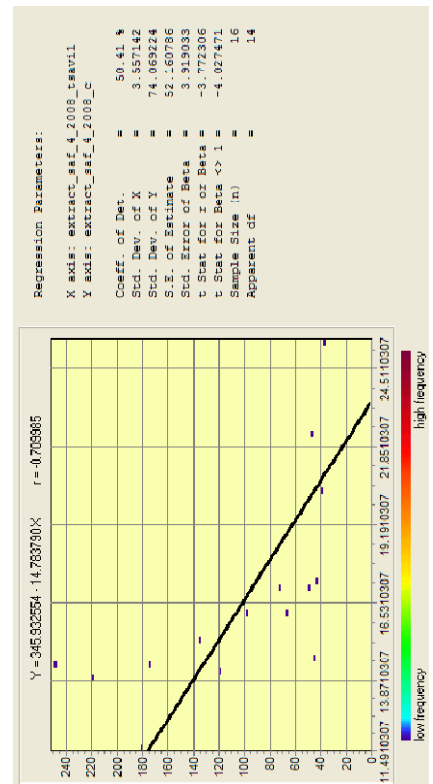
SAVI a



SAVI c



SAVI b



TSAVI 1

Anexo 61. Regressões entre o carbono estimado no SAF 4 e IV (Complexos) 2008.

