



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**JULYANNE LORAINÉ CARUSO DE SÁ SEIBEL ESTRELLA**

**RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E ÍNDICES DE  
VEGETAÇÃO NA AMAZÔNIA - SENA MADUREIRA-AC**

Prof.º Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO MENDONÇA  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
JULHO – 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**JULYANNE LORAINÉ CARUSO DE SÁ SEIBEL ESTRELLA**

**RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E ÍNDICES DE  
VEGETAÇÃO NA AMAZÔNIA - SENA MADUREIRA-AC**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof.º Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO MENDONÇA  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
JULHO – 2017

**RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E ÍNDICES DE  
VEGETAÇÃO NA AMAZÔNIA - SENA MADUREIRA-AC**

**JULYANNE LORAINÉ CARUSO DE SÁ SEIBEL ESTRELLA**

Monografia aprovada em 04 de julho de 2017.

Comissão Examinadora:

---

Prof.<sup>o</sup>. Dr. Bruno Araujo Furtado Mendonça  
UFRRJ/IF/DS  
Orientador

---

Prof. Dr. Francisco José de Barros Cavalcanti  
UFRRJ/IF/DS  
Membro

---

Prof. Dr. Emanuel José Gomes de Araújo  
UFRRJ/IF/DS  
Membro

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe por todo sacrifício e empenho para me ajudar a chegar até aqui. Pela mãozinha com os trabalhos de casa no fundamental, por acordar às 5 da manhã no ensino médio; pelas marmitas na faculdade e por aguentar meu mau humor nesses últimos semestres, eu só tenho a agradecer todos esses empurrões. Me desculpe por todas as preocupações e sustos que te dei. Te amo!

Mesmo não estando mais aqui, agradeço a minha vó, que sempre me incentivou, apoiou e me escutou em toda a minha jornada. Um exemplo de pessoa, com o maior coração do mundo. Minha estrela guia.

Ao meu orientador, Bruno, agradeço a paciência e o entusiasmo. Mesmo cansado, sempre nos recebe com um sorriso estampado no rosto. Disposto a ajudar e me dando autonomia para caminhar com as minhas próprias pernas, mesmo que bambas. Agradeço toda a troca de conhecimento e a oportunidade oferecida.

Ao professor Chico, que contribuiu, entre muitas conversas e puxões de orelha, com o trabalho. Esse seu jeito agitado e coração grande, que abraçou minha ideia e me aturou no seu pé. Obrigada por tudo.

Ao professor Emanuel por aceitar o convite, por me ensinar a chegar na hora certa na aula e por abrir meus olhos para o diferencial do trabalho, obrigada.

À pessoa que me inspirou e incentivou a me encontrar na engenharia florestal, não poderia deixar de ser mencionada. Alto astral, braços abertos, muita conversa e sempre tem um cantinho para mim. Obrigada Tia Arizette.

A minha dinda, eu também só tenho a agradecer o carinho, a presença, a preocupação e empurrão depois do pior baque da minha vida. Seus conselhos só me ajudam a agregar e amadurecer.

À Rural, tenho que agradecer por ter me dado uma irmã, Caroll, que entre risadas e reclamações, um trabalho ou prova, abraço ou tapa e das comidinhas, sempre esteve ao meu lado.

Paizão, o apelido faz jus a sua pessoa. Agradeço o cuidado que teve comigo, as brincadeiras e os momentos que você me levantou. Todas as cantorias e perturbações nas idas e vindas na baratinha vão ficar marcadas na memória.

Renata Knupp, que inspiração é você. Seu esforço e preocupação com os outros me fazem querer melhorar. Essa parceria dos últimos semestres e principalmente nessa reta final deixaram marcas profundas e não pode acabar. Você ainda vai me ouvir reclamar muito do mundo, bixete.

Jovem, como você do nada ganhou um espaço tão grande no meu coração. O carinho e respeito que eu tenho por ti é enorme. Com a energia e o astral lá em cima ou entre lágrimas, sempre vou te querer por perto.

Humberto, agradeço pela amizade, as inúmeras vezes que você me salvou, a esse coração enorme, as conversas vindas do fundo dele, pela parceria, por me incentivar a ser uma boa profissional e motorista também. A você todo o meu carinho.

Caio, se fosse escrever sobre ti precisaria de um livro. Nesses anos todos passamos por altos e baixos. Por muitas risadas e brigas, no fim somos como imãs. Obrigada por não desistir, pois juntos passamos a conhecer até os mínimos gestos um do outro. Obrigada por propiciar um álbum particular no meu celular e pela “brotheragem” que será eterna.

Gabi minha flor, agradeço a leveza que você traz para minha vida, os questionamentos sobre o mundo, as conversas com a mente aberta e todos os abraços. Sua amizade me engrandece como pessoa e como mulher.

Lucas, nossa história é longa e com várias feições. Quero te agradecer por tudo que fez por mim. Por me incentivar, me ouvir, me aturar, ajudar e estar do meu lado nesses longos anos. Você sabe que tem um lugar no meu coração. Obrigada por ser um dos meus pilares.

Agradeço ao professor Valcarcel, o qual eu tenho enorme carinho e admiração. Obrigada por todo o conhecimento, todas as chamadas e por todo o respeito. Espero um dia poder ser uma referência para alguém como o senhor é para mim.

E por último, mas não menos importante, agradeço a todos que assim como a minha mãe, me perguntaram diversas vezes: “Vai formar quando? ”.

## RESUMO

A floresta Amazônica corresponde a mais de 40% do Brasil, sendo a maior reserva de madeira tropical do mundo. A pressão de atividades antrópicas vem corroendo a floresta, entre elas a atividade madeireira ilegal. O manejo sustentável é uma das soluções econômicas para a manutenção da floresta em pé. O presente trabalho visou verificar as correlações entre as variáveis dendrométricas e índices de vegetação (NDVI e SAVI), com o intuito de subsidiar o monitoramento dessas áreas sob manejo. Analisou-se todos os dados de forma independente e posteriormente a partir da média do pixel das imagens utilizadas para obter os índices de vegetação. Ao avaliar os indivíduos correlações obtidas foram de moderadas à desprezíveis apresentando melhorias significativas ao estratificar a amostra a partir do volume. Obteve-se correlações fortes na avaliação das médias, principalmente para volumes maiores. Após ajustes essa abordagem de estudo e monitoramento remoto demonstra potencial para contribuir com os inventários na verificação de prognoses de produção.

**Palavras chaves:** Índices de vegetação; variáveis dendrométricas, Amazônia, Floresta ombrófila, Pearson.

## ABSTRACT

The Amazon forest accounts for more than 40% of Brazil, being the largest reserve of tropical timber in the world. The pressure of anthropic activities has eroded the forest, including illegal logging. Sustainable management is one of the economical solutions for standing forest maintenance. The present study aimed to verify the correlations between dendrometric variables and vegetation indexes (NDVI and SAVI), in order to subsidize the monitoring of these areas under management. All data were analyzed independently and subsequently from the pixel mean of the images used to obtain the vegetation indexes. When evaluating the individuals obtained correlations were moderate to negligible presenting significant improvements when stratifying the sample from the volume. Strong correlations were obtained in the evaluation of averages, especially for larger volumes. After adjustments this study and remote monitoring approach demonstrates the potential to contribute to inventories in verifying production prognoses.

**Keywords:** Vegetation indexes; Dendrometric variables, Amazon, Ombrophilous Forest, Pearson.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 1         |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                   | 3         |
| <b>2.1. Inventário Florestal .....</b>                          | <b>3</b>  |
| <b>2.2. Comportamento Espectral da Vegetação .....</b>          | <b>3</b>  |
| <b>2.3. Índices de Vegetação.....</b>                           | <b>4</b>  |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....                                     | 6         |
| <b>3.1. Caracterização e Localização da Área de Estudo.....</b> | <b>6</b>  |
| <b>3.2. Inventário Florestal .....</b>                          | <b>6</b>  |
| <b>3.3. Imagens Landsat 5 TM.....</b>                           | <b>7</b>  |
| <b>3.4. Índices de Vegetação.....</b>                           | <b>8</b>  |
| <b>3.5. Correlação de Pearson.....</b>                          | <b>9</b>  |
| <b>3.6. Fluxograma dos Procedimentos .....</b>                  | <b>10</b> |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                 | 11        |
| 5. CONCLUSÕES.....  | 19        |
| 6. BIBLIOGRAFIA REFERENCIAL.....                                | 20        |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Curva espectral da vegetação, água e solo.....                      | 4  |
| Figura 2: Localização da área de estudos. ....                                | 6  |
| Figura 3: Mapa com os indivíduos do inventário plotados nas UT' 11 e 12. .... | 7  |
| Figura 4: Mapa do NDVI para janeiro e fevereiro. ....                         | 11 |
| Figura 5: Mapa do NDVI para junho e setembro. ....                            | 11 |
| Figura 6: Mapa do NDVI para outubro. ....                                     | 12 |
| Figura 7: Mapa do SAVI para janeiro e fevereiro. ....                         | 13 |
| Figura 8: Mapa do SAVI para junho e setembro. ....                            | 13 |
| Figura 9: Mapa do SAVI para outubro. ....                                     | 14 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Descrição dos sensores TM (Landsat 5 TM ) e ETM+ (Landsat 7 ETM+)..... | 8  |
| Tabela 2 - Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão para o NDVI.....       | 12 |
| Tabela 3 - Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão para o SAVI.....       | 14 |
| Tabela 4 - Correlação de Pearson para o inventário da UT-11 .....                 | 15 |
| Tabela 5 - Correlação de Pearson para o inventário da UT-12 .....                 | 16 |
| Tabela 6 - Correlação de Pearson para as médias dos pixels da UT-11 .....         | 16 |
| Tabela 7 - Correlação de Pearson para as médias dos pixels da UT-12.....          | 17 |

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é considerada a maior floresta tropical do mundo. No Brasil chega a ocupar uma área de 4.196.943 km<sup>2</sup>, correspondente a mais de 40% do território nacional, abrangendo territórios do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima, e parte do território do Maranhão, Mato Grosso e Tocantins; formada por ecossistemas distintos, como floresta densa de terra firme, floresta de igapó, savana, florestas estacionais, refúgios montanhosos e outros (IBAMA, 2017).

Segundo o MMA (2017) as estimativas situam a região como a maior reserva de madeira tropical do mundo. Além da madeira, outras fontes abundantes de recursos naturais compõem a riqueza amazônica, entre esses se incluem borracha natural, castanha, peixe, minérios entre outros (MMA, 2017).

O bioma Amazônico é considerado nosso bioma mais preservado, porém cerca de 16% de sua área já foi devastada; em que o desmatamento, as queimadas, a garimpage, o agro pastoreio e a biopirataria representam os principais problemas ambientais enfrentados na região (EUGENIO, 2016).

A construção de estradas na Amazônia brasileira nas décadas de 60 e 70 facilitou o acesso à região para a agricultura e pecuária. Mais recentemente, essas estradas têm permitido aos exploradores e à indústria de madeira o acesso à região (JOHNS *et.al.*, 1998).

Caso as áreas de floresta fossem abandonadas após a exploração descontrolada, seriam necessários cerca de 75 a 100 anos para uma segunda extração com volume similar ao da extração atual. Em contrapartida se as florestas fossem manejadas cuidadosamente, o ciclo de extração pode ser reduzido para 30 a 40 anos (BARRETO *et al.*, 1993).

No manejo de florestas a adoção de prática meticolosas de exploração, é um dos componentes importantes para reduzir os danos à floresta remanescente. E tanto para conservação quanto para a exploração sustentável de florestas naturais a demanda de conhecimento sobre sua estrutura é indispensável. Para caracterizar a composição da formação e/ou conhecer o estoque de madeira disponível antes de uma exploração é necessário a execução de inventários florestais (SCOLFORO *et al.*, 1998).

O sensoriamento remoto tem sido de grande auxílio na aquisição de informações envolvendo grandes extensões do território, a exemplo do monitoramento do desflorestamento da Amazônia (INPE, 2007). Ainda fornecendo informações quantitativas, com boa resolução espacial e em séries temporais, atuando como ferramenta importante no estudo e gerenciamento da paisagem florestal (FOODY *et al.*, 2003).

A utilização do sensoriamento remoto no monitoramento ambiental ou planejamento para exploração florestal, com o objetivo de obter estimativas de variáveis dendrométricas tem sido cada vez mais comum (ROSENQVIST, 2003). As correlações entre as variáveis levantadas em um inventário e os índices de vegetação permitem

caracterizar as relações existentes ao longo do crescimento da floresta, auxiliando as fases de planejamento e também o monitoramento ao longo do tempo.

O presente trabalho objetivou verificar as correlações entre variáveis dendrométricas com índices de vegetação (NDVI e SAVI) em uma área de manejo florestal.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Inventário Florestal**

O inventário florestal é a base do planejamento da produção de uma empresa, além de produzir informações sobre os recursos florestais utilizados no monitoramento de florestas plantados e nativas. Onde é essencial a escolha do melhor método de amostragem, utilizando o número de unidades de amostra ideal, com tamanho e forma adequados (SILVA et al. 1996).

O inventário florestal possibilita a caracterização de uma determinada área qualitativa e quantitativamente, além de estimar o incremento médio da vegetação em questão (HUSCH et al. 1982).

Um inventário florestal completo pode fornecer diversas informações entre elas:

- a) Estimativa de área
- b) Descrição da topografia
- c) Mapeamento da propriedade
- d) Descrição de acessos
- e) Facilidade de transporte da madeira
- f) Estimativa da quantidade e qualidade de diferentes recursos florestais
- g) Estimativa de crescimento

Os inventários florestais podem ser classificados em diversos tipos de acordo com seus objetivos, abrangência, forma de obtenção dos dados, abordagem da população no tempo e grau de detalhamento dos seus resultados (PÉLLICO NETTO E BRENA 1997).

Para uma caracterização mais adequada da estrutura da floresta faz-se necessário conhecer a distribuição em relação ao número de árvores, área basal. Deste modo o inventário florestal fornece informações sobre a estrutura diamétrica, permitindo estimar o volume de madeira no povoamento, facilitando o planejamento das atividades futuras (CUNHA,2003).

### **2.2. Comportamento Espectral da Vegetação**

Para a utilização do sensoriamento remoto no monitoramento ambiental é essencial compreender as relações existentes entre dados espectrais e vegetação presentes na formação florestal em estudo.

A análise do comportamento espectral da vegetação na realização da fotossíntese e sintetização de outros metabólicos, pode ser descrita com a interação de diferentes fenômenos que ocorrem no momento da incidência da radiação

eletromagnética sobre um corpo. As folhas absorvem a radiação eletromagnética na faixa do visível (0,4  $\mu\text{m}$  a 0,72  $\mu\text{m}$ ) e no interior das células e em lacunas intercelulares a água absorve grande parte da radiação do espectro do infravermelho próximo (1,1  $\mu\text{m}$  a 2,5  $\mu\text{m}$ ) (NOVO,2008).

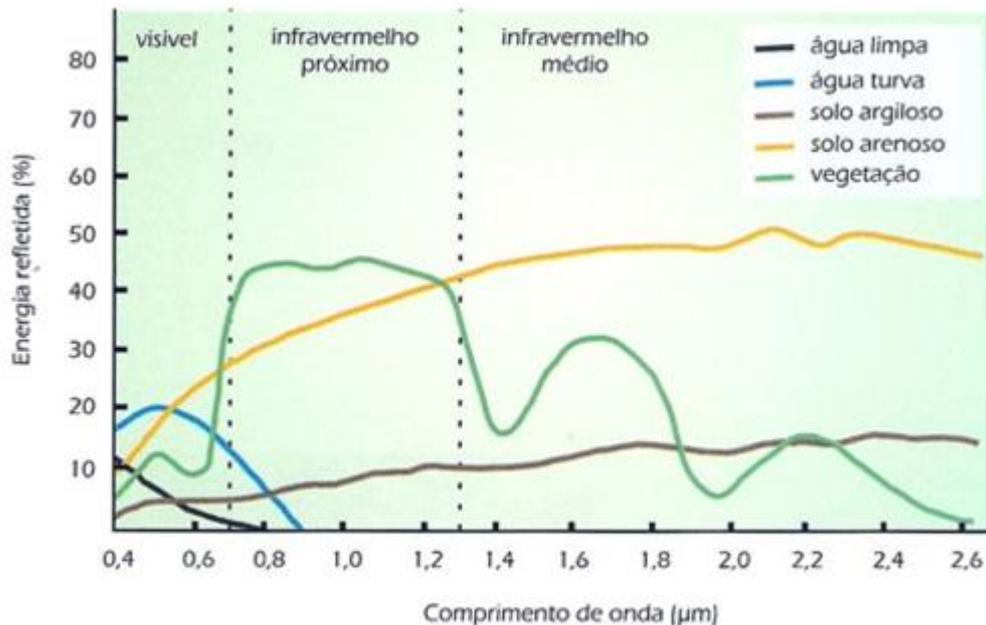


Figura 1: Curva espectral da vegetação, água e solo.

Fonte: Florenzano (2002).

A refletância na superfície de formações vegetais é menor na região do visível (principalmente na faixa espectral do vermelho), já na região do infravermelho próximo os valores são maiores (PONZONI et al., 2012).

Os índices de vegetação mais populares envolvem a utilização dos comprimentos de onda do infravermelho próximo e do vermelho, de forma a enfatizar a grande diferença entre a alta absorção da radiação eletromagnética do vermelho, ocorrente na folhagem, e a radiação do infravermelho (LU et al, 2004).

### 2.3. Índices de Vegetação

Os índices de vegetação são modelos matemáticos desenvolvidos que relacionam a assinatura espectral e os indicadores no campo tanto quantitativamente quanto qualitativamente de forma a avaliar a vegetação (BARBOSA, 2006). Esses modelos são obtidos através das operações realizadas com as bandas espectrais, normalmente utilizando as faixas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (EPIPHANIO et al, 1996).

As bandas das imagens de satélite são compostas por pixels, que por sua vez, são transformados diretamente pelas equações, ressaltando determinados aspectos inerentes a cada índice (ROSENDO, 2005). Segundo Ponzoni (2005) os índices indicam o crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários

parâmetros biofísicos. Esses índices têm sido utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala continental, regional e global (BANNARI et al., 1995). Esse sucesso deve-se a reflectância diferencial da clorofila nos comprimentos de onda do visível e infravermelho (BARBOSA, 2006).

Apesar de existirem inúmeros índices de vegetação, um dos mais difundidos é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), sendo a razão entre a diferença das refletividades das bandas do infravermelho próximo e do vermelho e a soma dessas mesmas refletividades. O NDVI varia no intervalo de -1 a 1 e apresenta sensibilidade à quantidade e condição da vegetação. Nas superfícies que contêm água ou nuvens, esta variação é sempre menor do que 0. (ROUSE et al., 1973).

A vegetação espaçada, como arbustos, pastagens, agricultura ou culturas senescentes, geralmente apresentam valores moderados de NDVI (aproximadamente 0,2 a 0,5). Já a vegetação densa, como em florestas tropicais, os valores de NDVI costumam ser mais elevados (aproximadamente 0,6 a 0,9) (USGS, 2015).

Ao processar os dados do satélite para obter valores de NDVI, geram-se produtos que estimam a quantidade, condição e o tipo da vegetação em superfícies terrestres em todo o mundo. O NDVI é especialmente útil para a monitorização da vegetação de escala continental a escala mundial porque pode compensar a alteração das condições de iluminação, inclinação da superfície e ângulo de visão. Assim sendo o NDVI tende a saturar sobre a vegetação densa e é sensível à cor subjacente do solo.

Em uma análise mais aprofundada pode caracterizar a saúde da vegetação em determinado local. Quando analisado ao longo do tempo, o NDVI pode revelar onde a vegetação está em crescimento e onde está sob estresse, bem como mudanças na vegetação devido a atividades humanas, como desmatamento, distúrbios naturais como fogos ou mudanças no estágio fenológico das plantas (USGS, 2015).

Outro índice bastante utilizado é o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é um índice que leva em consideração efeitos do solo exposto nas imagens analisadas, para ajuste do NDVI quando a superfície não está completamente coberta pela vegetação.

O SAVI é obtido através da razão entre a banda do vermelho e a banda do infravermelho próximo, com um fator de correção (L), devido o efeito de brilho do solo, onde este varia de acordo com a densidade da cobertura vegetal, sendo muitas vezes definido como 0,5 para acomodar a maioria dos tipos de cobertura do solo (USGS, 2014).

Alguns índices de vegetação, são sensíveis às variações sazonais sendo afetados pela quantidade de água presente, interna ou externa, nas folhas. A tendência é que os índices em épocas mais chuvosas, apresentem valores maiores. Segundo Yi (1997), em florestas ombrófilas a sazonalidade é pouco evidente, apresentando índices mais estáveis.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização e Localização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada no Acre, ao norte do município de Sena Madureira, possuindo 1000 hectares, subdivididos em 10 Unidades de Trabalho (UTs) de 100 ha cada (Figura 2). Os dados utilizados para o trabalho compreenderam as UTs 11 e 12, estando localizadas entre as latitudes 9° 26'32" S e longitude 68° 38' 22" W.



Figura 2: Localização da área de estudos.

Fonte: Cavalcanti (2007).

A classificação climática segundo Köppen, consiste no tipo “Am” (IBGE,2016), caracterizado por clima de monção, estação invernal pouco definida ou ausente, forte precipitação anual (> 1500 mm, superior à evapotranspiração potencial anual). A precipitação é bem distribuída ao longo do ano, praticamente sem período biologicamente seco (INMET, 2017).

Como citado por Cavalcanti (2007), a formação florestal predominante é composta por Floresta Ombrófila, tendo a Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com bambus e a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas Dossel Emergente como suas formas dominantes.

#### 3.2. Inventário Florestal

Em 2003 realizou-se um censo florestal em 1.000 hectares, divididos em 10 UT de 100ha cada. Como critério de inclusão considerou-se árvores com DAP  $\geq$  40 cm,

para compor a maioria da população a ser explorada no próximo ciclo de corte já que as classes comerciais se dão acima dos 50 cm de diâmetro.

Foram abertas picadas paralelas na direção norte-sul, distantes 50 m entre si. Em cada picada foram colocadas balizas distanciadas em 25 m, com a respectiva metragem em relação à origem, para posterior registro das coordenadas “y” de cada árvore. A coordenada “x” de cada árvore foi obtida por meio do número da picada e da distância de cada árvore em relação a ela (OLIVEIRA,2015).

Para este estudo, foram utilizados dos dados processados, as seguintes informações: a) número; b) nome vulgar; c) coordenadas “x” e “y” em UTM; d) diâmetro à altura do peito (DAP); e) área basal e f) volume.

Das UT's levantadas no inventário, utilizou-se as UT's 11 e 12 para compor a base de dados utilizados no presente estudos. A primeira UT apresentando 1865 indivíduos distribuídos em 32 famílias, onde 39 indivíduos não foram identificados a nível de espécie ou família. Já na UT 12 obteve-se 1642 indivíduos distribuídos em 33 famílias e 5 indivíduos não identificados.

As médias para abundância, área basal e volume comercial são respectivamente 18,65 árvores/ha, 5,96 m<sup>2</sup>/ha e 44,25 m<sup>3</sup>/ha para UT11 e 16,42 árvores/ha, 4,91 m<sup>2</sup>/ha e 41,60 m<sup>3</sup>/ha para UT 12, estando distribuídas em 60 espécies florestais.

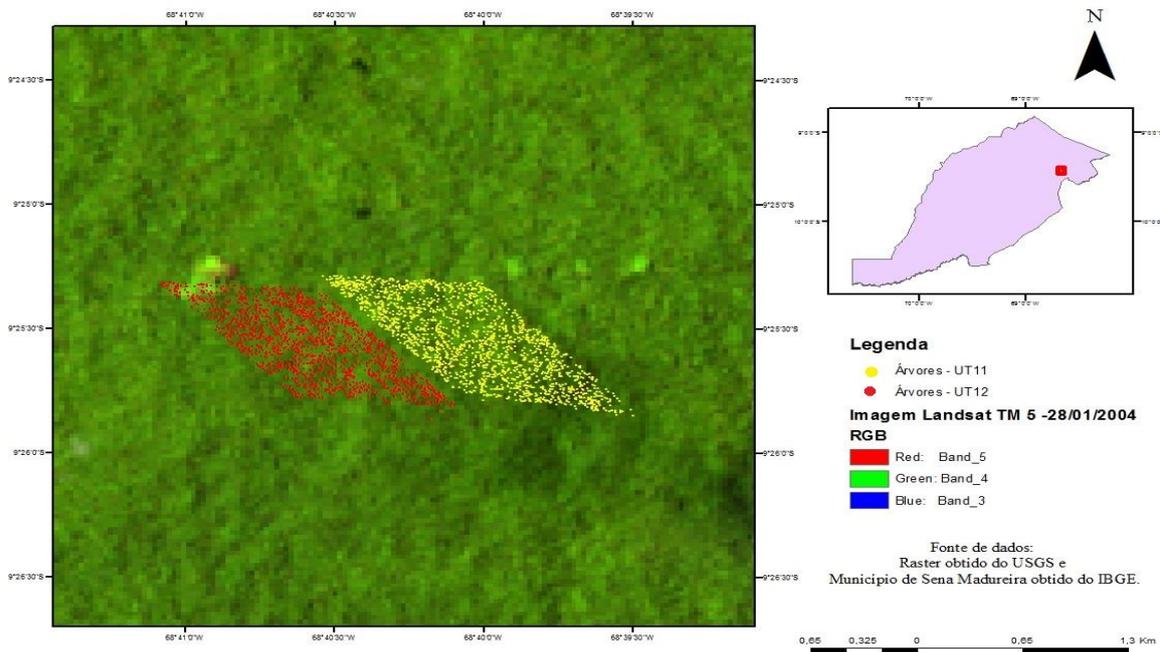


Figura 3: Mapa com os indivíduos do inventário plotados nas UT' 11 e 12.

Fonte: Próprio autor.

### 3.3. Imagens Landsat 5 TM

Para obtenção dos índices de vegetação foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 TM, disponibilizadas gratuitamente pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - United States Geological Survey).

Para observar a área em período próximos ao da realização do inventário, tinha-se como opções dentro da série Landsat , o 5 TM e o 7 ETM+, porém o último apesar de oferecer melhor resolução nas bandas de interesse ,as imagens continham defeitos ou com nebulosidade superior à 30% da área de cobertura. Dessa forma o Landsat 5 TM foi escolhido como fonte dos rasters utilizados no desenvolvimento do trabalho.

Tabela 1 - Descrição dos sensores TM (Landsat 5 TM ) e ETM+ (Landsat 7 ETM+)

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral       | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Faixa Imageada |
|--------|-------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| TM     | 1                 | 0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 2                 | 0.50 - 0.60 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 3                 | 0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 4                 | 0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 5                 | 1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 6                 | 10.4 - 12.5 $\mu\text{m}$ | 120 m              | 16 dias            | 185 km         |
|        | 7                 | 2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
| ETM+   | 1                 | 0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 2                 | 0.50 - 0.60 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 3                 | 0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 4                 | 0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 5                 | 1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 6                 | 10.4 - 12.5 $\mu\text{m}$ | 60 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 7                 | 2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ | 30 m               | 16 dias            | 185 km         |
|        | 8                 | 0.50 - 0.90 $\mu\text{m}$ | 15 m               | 16 dias            | 185 km         |

Fonte: Tabela adaptada de EMBRAPA (2013).

Foram adquiridas 5 imagens do ponto 02/órbita 67: 28/01; 13/02; 04/06; 08/09; 26/10 todas de 2004. Tanto as imagens quanto as árvores georeferenciadas seguiram o padrão UTM WGS84 19S. Nas imagens disponíveis para o ano do inventário (2003) encontrou-se um percentual elevado de nuvens, impossibilitando seu uso, optando-se por utilizar as imagens do ano seguinte.

As imagens fornecidas pelo USGS já são adquiridas com a correção atmosférica, metodologia validada por Vuolo et al. (2015).

### 3.4. Índices de Vegetação

Para o cálculo do NDVI aplicou-se a equação proposta por Rouse et al. (1974) utilizando as Bandas 3 e 4, vermelho e infravermelho próximo respectivamente:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)}$$

Em que:  $\rho_{IVP}$  é referente a reflectância na banda do infravermelho próximo e  $\rho_V$  é a reflectância na banda do vermelho.

Já para determinar o SAVI utilizou-se a equação proposta por Huete:

$$SAVI = \frac{(1 + Ls)(\rho IVP - \rho V)}{(Ls + \rho IVP - \rho V)}$$

Onde: Ls é uma constante denominada de fator de ajuste do índice SAVI, podendo assumir valores de 0,25 a 1 dependendo da cobertura do solo.

Segundo Huete (1988) um valor para Ls de 0,25 é utilizado para vegetação densa e de 0,5 para vegetação com densidade intermediária e Ls assume o valor 1 para vegetação com baixa densidade. Considerando que o inventario realizado ocorreu em área de floresta ombrófila densa, fixou-se Ls= 0,25 para aplicação da equação.

### 3.5. Correlação de Pearson

Os resultados obtidos a partir do NDVI e SAVI, foram correlacionados com o volume, área basal e DAP de cada UT através dos dois métodos descritos abaixo:

- Método 1

- Volume, Área Basal e DAP foram correlacionados com os valores dos pixels para NDVI e SAVI.

- Método 2

- Para cada pixel do raster fez-se a média do volume, Área Basal e DAP inseridos no pixel, posteriormente foram correlacionados com os de NDVI e SAVI.

Para essa avaliação utilizou-se a correlação de Pearson ( $\rho$ ), que mede o grau da correlação entre duas variáveis de escala métrica. Onde  $\rho$  assume apenas valores entre -1 e 1. Uma correlação perfeita e positiva entre as duas variáveis seria  $\rho=1$ .

Ao assumir o valor -1 a correlação entre as duas variáveis é perfeita e negativa, isto significa que se uma aumenta a outra diminui. Quando as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra  $\rho$  se iguala a zero.

Para verificar as correlações observadas nos estudos, utilizou-se como parâmetro a escala abaixo, podendo se positiva ou negativa:

- 0.9 - correlação muito forte.
- 0.7 a 0.9 - correlação forte.
- 0.5 a 0.7 - correlação moderada.
- 0.3 a 0.5 - correlação fraca.
- 0 a 0.3 - correlação desprezível.
- Fonte: Adaptado de LAPOINTE (1992).

As correlações foram determinadas para todo o povoamento e em sequência para 5 classes: Indivíduos acima de 4 m<sup>3</sup>, acima de 6, 8, 10 e 12 m<sup>3</sup>.

### 3.6. Fluxograma dos Procedimentos

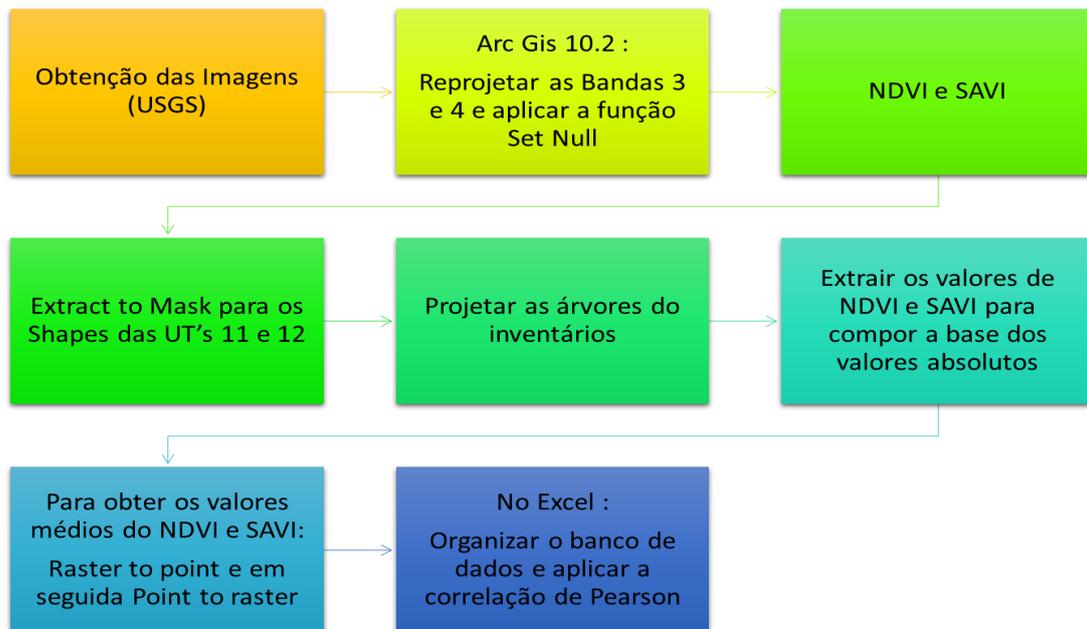


Figura 4: Fluxograma das atividades de processamento de dados.

Fonte: Próprio autor.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas abaixo mostram a distribuição espacial e temporal do NDVI ao longo de 2004.

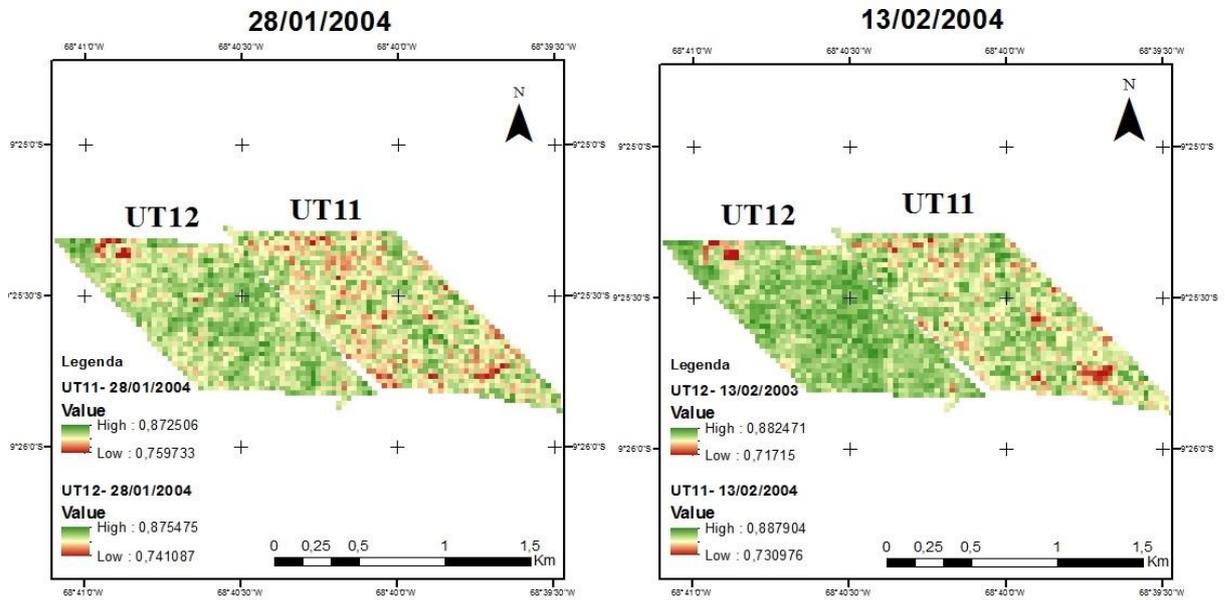


Figura 4: Mapa do NDVI para janeiro e fevereiro.

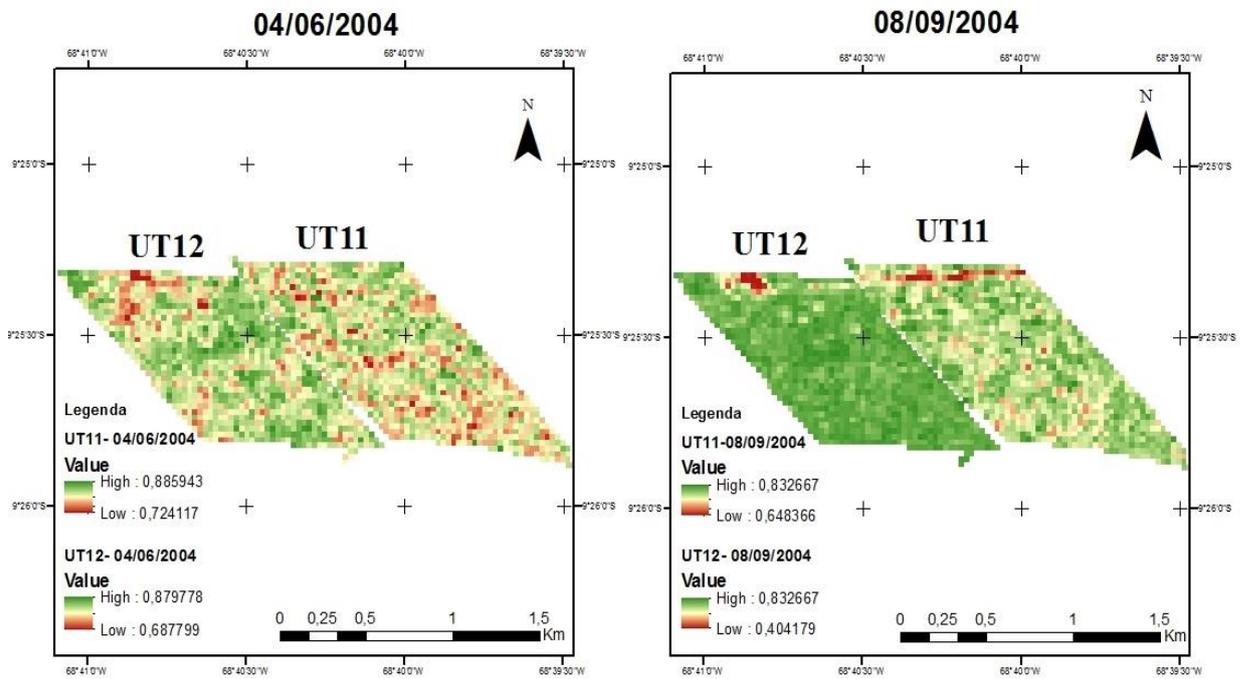


Figura 5: Mapa do NDVI para junho e setembro.

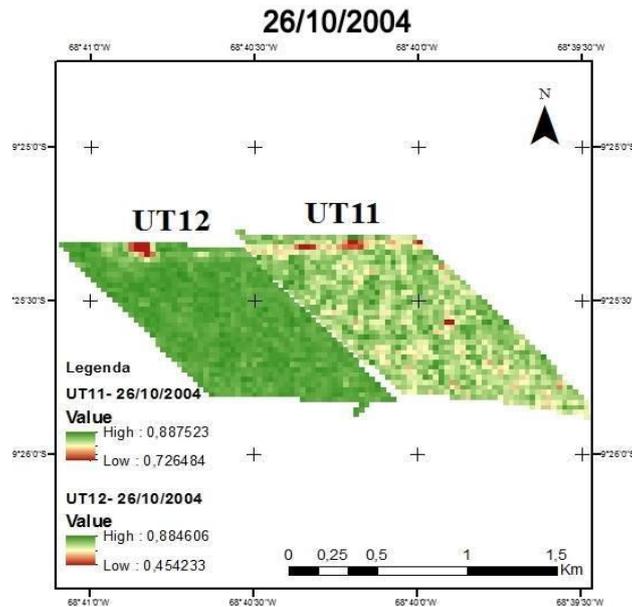


Figura 6: Mapa do NDVI para outubro.

Os valores de NDVI obtidos foram resumidos na Tabela 2, onde percebe-se pouca variabilidade, normalmente associada a florestas ombrófilas.

Tabela 2 - Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão para o NDVI

|                   |      | Mín   | Max   | Média | Desvio Padrão |
|-------------------|------|-------|-------|-------|---------------|
| <b>28/01/2004</b> | UT11 | 0,759 | 0,872 | 0,834 | 1,440         |
|                   | UT12 | 0,741 | 0,875 | 0,834 | 1,602         |
| <b>13/02/2004</b> | UT11 | 0,731 | 0,888 | 0,846 | 1,490         |
|                   | UT12 | 0,717 | 0,882 | 0,846 | 1,736         |
| <b>04/06/2004</b> | UT11 | 0,724 | 0,886 | 0,820 | 2,180         |
|                   | UT12 | 0,687 | 0,879 | 0,818 | 2,692         |
| <b>08/09/2004</b> | UT11 | 0,648 | 0,832 | 0,780 | 2,359         |
|                   | UT12 | 0,404 | 0,833 | 0,774 | 4,390         |
| <b>26/10/2004</b> | UT11 | 0,726 | 0,887 | 0,848 | 1,598         |
|                   | UT12 | 0,454 | 0,885 | 0,845 | 3,531         |

O SAVI por ser um índice derivado do NDVI, apresenta as mesmas tendências como pode ser visto nas Figuras 8, 9 e 10. Como visto na tabela 3, padrão também demonstrado na tabela 2 (NDVI), as médias se encontram próximas aos valores máximos. Indicando uma vegetação mais densa.

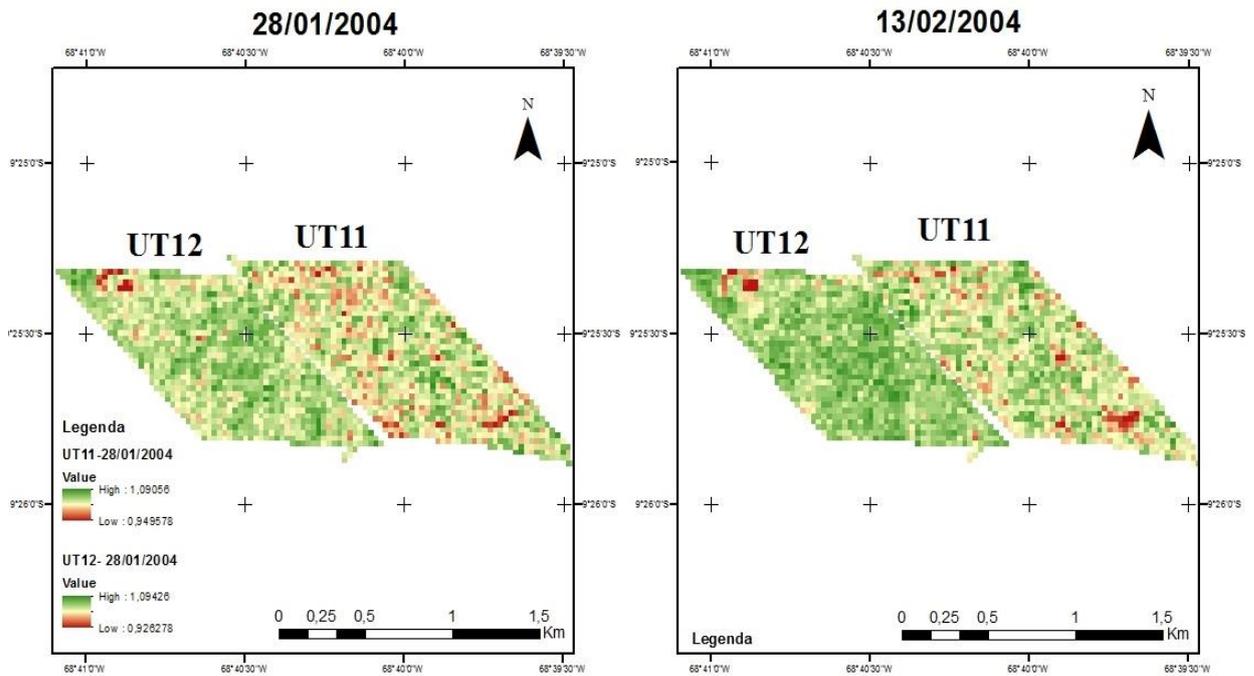


Figura 7: Mapa do SAVI para janeiro e fevereiro.

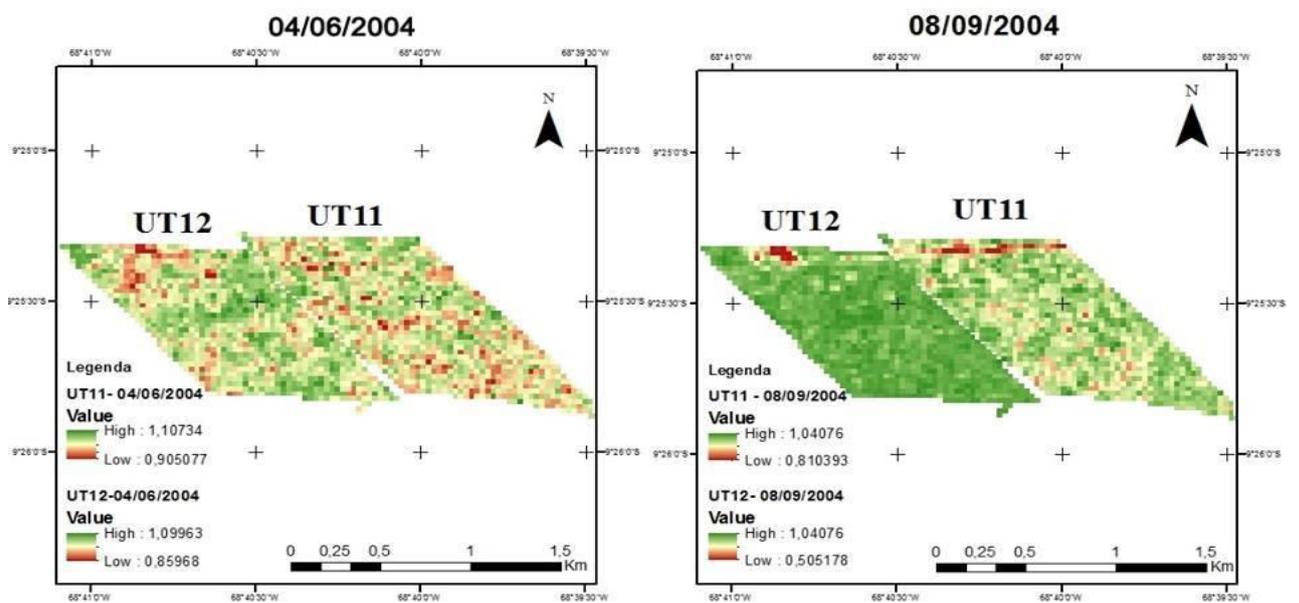


Figura 8: Mapa do SAVI para junho e setembro.

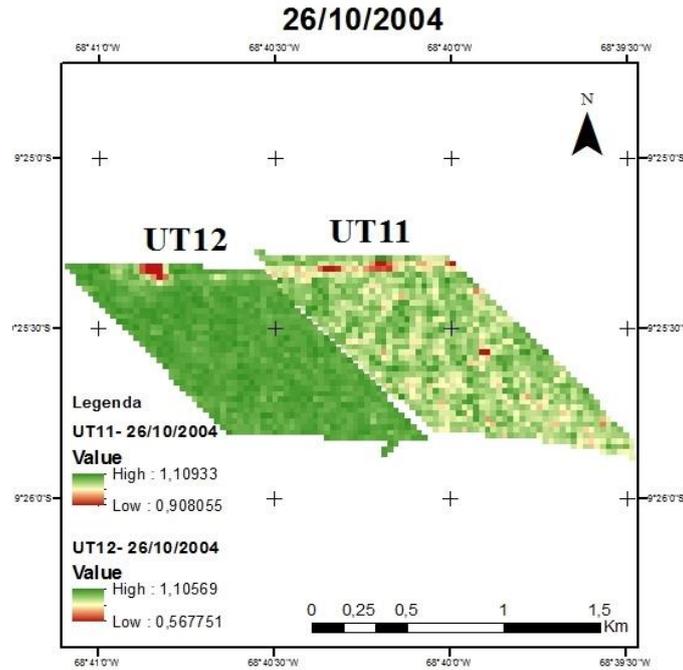


Figura 9: Mapa do SAVI para outubro.

Tabela 3 - Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão para o SAVI

|                   |      | Mín   | Max   | Média | Desvio Padrão |
|-------------------|------|-------|-------|-------|---------------|
| <b>28/01/2004</b> | UT11 | 0,949 | 1,090 | 1,043 | 1,800         |
|                   | UT12 | 0,926 | 1,094 | 1,042 | 2,002         |
| <b>13/02/2004</b> | UT11 | 0,913 | 1,109 | 1,057 | 1,867         |
|                   | UT12 | 0,896 | 1,103 | 1,058 | 2,170         |
| <b>04/06/2004</b> | UT11 | 0,905 | 1,107 | 1,025 | 2,720         |
|                   | UT12 | 0,859 | 1,099 | 1,022 | 3,367         |
| <b>08/09/2004</b> | UT11 | 0,810 | 1,041 | 0,975 | 2,940         |
|                   | UT12 | 0,505 | 1,040 | 0,967 | 5,493         |
| <b>26/10/2004</b> | UT11 | 0,908 | 1,109 | 1,060 | 1,990         |
|                   | UT12 | 0,567 | 1,105 | 1,056 | 4,413         |

Os resultados para as correlações de Pearson das variáveis dendrométricas de cada indivíduo do inventário com os valores de NDVI e SAVI de cada UT apresentaram correlações moderada a desprezíveis como apresentados nas Tabelas 4 e 5. No entanto, as correlações em sua maioria são abaixo de 0,3 (desprezíveis). Ao separar os indivíduos em classes de volume em níveis cada vez maiores, os resultados apresentaram correlações maiores sucessivas, as quais revelam uma maior contribuição dos indivíduos arbóreos para a formação da resposta espectral representada pelo índice de vegetação.

Os baixos valores da correlação dos parâmetros observados (volume, área basal e DAP) com o NDVI e o SAVI podem ser relacionados ao fato da reflectância do infravermelho próximo apresentar variações em função do aumento da sombra do

dossel causado por indivíduos de maior altura e da diminuição do brilho do solo devido ao aumento da densidade da biomassa (HARRELL et. al., 1995; TREITZ, 1999).

O sombreamento desempenha um papel importante na resposta de todas as bandas quanto à alteração de volume, de forma tão importante quanto a quantidade de água nas folhas do dossel influencia a resposta do infravermelho (HORLER, 1986). Períodos mais úmidos irão influenciar de forma considerável os valores de NDVI e SAVI e essa relação com a sazonalidade pode ser observada nos meses de setembro e outubro.

Nos períodos mais seco a diminuição da quantidade de água no dossel tende a amenizar os efeitos causados pelo sombreamento, homogeneizando a superfície das copas, devido à maior reflectância, que apresentam respostas diferentes para cada espécie vegetal.

Tabela 4 - Correlação de Pearson para o inventário da UT-11

|                             |     | NDVI   |        |        |        |        | SAVI   |        |        |        |        |
|-----------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                             |     | 28/jan | 13/fev | 04/jun | 08/set | 26/out | 28/jan | 13/fev | 04/jun | 08/set | 26/out |
| Todos os volumes<br>n= 1864 | V   | 0,020  | 0,017  | -0,010 | 0,005  | 0,008  | 0,020  | 0,017  | -0,010 | 0,005  | -0,013 |
|                             | G   | 0,018  | 0,022  | -0,014 | 0,002  | 0,009  | 0,018  | 0,022  | -0,013 | 0,002  | -0,012 |
|                             | DAP | 0,020  | 0,027  | -0,001 | 0,001  | 0,007  | 0,020  | 0,027  | -0,001 | 0,001  | -0,014 |
| >4m <sup>3</sup><br>n=180   | V   | -0,026 | -0,088 | -0,149 | 0,038  | 0,068  | -0,026 | -0,088 | -0,149 | 0,038  | 0,068  |
|                             | G   | -0,011 | -0,051 | -0,159 | 0,045  | 0,075  | -0,011 | -0,051 | -0,159 | 0,045  | 0,075  |
|                             | DAP | -0,011 | -0,047 | -0,166 | 0,044  | 0,081  | -0,011 | -0,047 | -0,166 | 0,044  | 0,081  |
| >6m <sup>3</sup><br>n=78    | V   | -0,071 | -0,130 | -0,189 | 0,045  | 0,019  | -0,071 | -0,130 | -0,189 | 0,045  | 0,019  |
|                             | G   | -0,045 | -0,089 | -0,209 | -0,016 | -0,024 | -0,045 | -0,089 | -0,209 | -0,016 | -0,024 |
|                             | DAP | -0,049 | -0,094 | -0,228 | -0,043 | -0,049 | -0,049 | -0,094 | -0,228 | -0,043 | -0,049 |
| >8m <sup>3</sup><br>n=33    | V   | -0,070 | -0,039 | 0,284  | 0,327  | 0,172  | -0,070 | -0,039 | 0,284  | 0,327  | 0,172  |
|                             | G   | -0,012 | 0,017  | 0,214  | 0,339  | 0,190  | -0,012 | 0,018  | 0,214  | 0,340  | 0,190  |
|                             | DAP | -0,017 | 0,019  | 0,215  | 0,334  | 0,176  | -0,017 | 0,019  | 0,215  | 0,334  | 0,176  |
| >10m <sup>3</sup><br>n=15   | V   | 0,300  | 0,067  | 0,146  | 0,192  | 0,210  | 0,300  | 0,067  | 0,146  | 0,193  | 0,210  |
|                             | G   | 0,286  | 0,107  | 0,110  | 0,232  | 0,301  | 0,286  | 0,108  | 0,110  | 0,232  | 0,301  |
|                             | DAP | 0,300  | 0,109  | 0,112  | 0,218  | 0,291  | 0,300  | 0,110  | 0,112  | 0,218  | 0,291  |
| >12m <sup>3</sup><br>n=12   | V   | 0,043  | 0,075  | 0,118  | 0,528  | 0,372  | 0,043  | 0,075  | 0,118  | 0,528  | 0,372  |
|                             | G   | 0,056  | 0,113  | 0,074  | 0,512  | 0,454  | 0,057  | 0,113  | 0,074  | 0,512  | 0,454  |
|                             | DAP | 0,060  | 0,119  | 0,075  | 0,519  | 0,460  | 0,060  | 0,119  | 0,075  | 0,519  | 0,460  |

Tabela 5 - Correlação de Pearson para o inventário da UT-12

|                             |     | NDVI   |        |        |        |        | SAVI   |        |        |        |        |
|-----------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                             |     | 28/jan | 13/fev | 04/jun | 08/set | 26/out | 28/jan | 13/fev | 04/jun | 08/set | 26/out |
| Todos os volumes<br>n= 1642 | V   | -0,003 | -0,038 | 0,000  | -0,027 | -0,017 | -0,003 | -0,038 | -0,010 | 0,027  | -0,017 |
|                             | G   | -0,003 | -0,038 | 0,000  | -0,027 | -0,017 | -0,003 | -0,038 | -0,010 | 0,027  | -0,017 |
|                             | DAP | 0,007  | -0,013 | -0,009 | -0,020 | -0,009 | 0,007  | -0,013 | -0,010 | -0,016 | -0,009 |
| >4m <sup>3</sup><br>n=195   | V   | -0,021 | -0,085 | 0,030  | 0,044  | 0,028  | -0,021 | -0,085 | 0,036  | 0,078  | 0,028  |
|                             | G   | -0,053 | -0,093 | 0,010  | 0,029  | 0,022  | -0,053 | -0,093 | 0,032  | 0,103  | 0,022  |
|                             | DAP | -0,077 | -0,111 | -0,003 | 0,011  | 0,017  | -0,077 | -0,111 | 0,026  | 0,118  | 0,017  |
| >6m <sup>3</sup><br>n=101   | V   | 0,079  | -0,032 | 0,051  | 0,108  | 0,033  | 0,079  | -0,032 | 0,051  | 0,052  | 0,033  |
|                             | G   | 0,045  | -0,040 | 0,039  | 0,166  | 0,040  | 0,096  | -0,040 | 0,039  | 0,032  | 0,040  |
|                             | DAP | 0,158  | -0,062 | 0,118  | 0,027  | -0,009 | 0,158  | -0,062 | 0,118  | -0,072 | -0,009 |
| >8m <sup>3</sup><br>n=55    | V   | 0,133  | -0,052 | 0,063  | 0,192  | 0,031  | 0,133  | -0,052 | 0,063  | 0,038  | 0,031  |
|                             | G   | 0,066  | -0,036 | 0,031  | 0,202  | 0,053  | 0,066  | -0,036 | 0,031  | 0,023  | 0,053  |
|                             | DAP | 0,058  | -0,039 | 0,012  | 0,199  | 0,052  | 0,058  | -0,039 | 0,012  | 0,032  | 0,052  |
| >10m <sup>3</sup><br>n=22   | V   | 0,179  | -0,026 | 0,147  | 0,202  | 0,090  | 0,179  | -0,026 | 0,147  | -0,111 | 0,090  |
|                             | G   | 0,022  | -0,020 | 0,080  | 0,215  | 0,119  | 0,022  | -0,020 | 0,080  | -0,197 | 0,119  |
|                             | DAP | -0,005 | -0,026 | 0,051  | 0,208  | 0,117  | -0,005 | -0,026 | 0,051  | -0,221 | 0,117  |
| >12m <sup>3</sup><br>n=17   | V   | 0,270  | 0,101  | 0,375  | 0,326  | 0,142  | 0,270  | 0,101  | 0,376  | -0,031 | 0,142  |
|                             | G   | 0,139  | 0,108  | 0,364  | 0,312  | 0,171  | 0,139  | 0,108  | 0,364  | -0,130 | 0,171  |
|                             | DAP | 0,130  | 0,117  | 0,365  | 0,318  | 0,172  | 0,130  | 0,117  | 0,365  | -0,154 | 0,172  |

Nas Tabelas 6 e 7 se encontram os resultados das correlações feitas através da média dos valores de volume, área basal e DAP em cada pixel das respectivas UT's. Pode-se observar que os resultados das correlações de Pearson se mostraram em sua maioria desprezíveis nas UT11 e UT12, quando a média de todos os indivíduos do inventário em ambas unidades de trabalho foram avaliados, demonstrando uma leve melhora nos meses mais úmidos.

Tabela 6 - Correlação de Pearson para as médias dos pixels da UT-11

| Todos os volumes         |     | NDVI   |        |        |        |        | SAVI   |        |        |        |        |
|--------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          |     | 28/jan | 13/fev | 04/jun | 08/set | 26/out | 28/jan | 13/fev | 04/jun | 08/set | 26/out |
|                          |     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| n= 824                   | V   | 0,011  | 0,014  | 0,007  | 0,022  | 0,023  | 0,017  | 0,005  | 0,005  | 0,022  | 0,023  |
|                          | G   | 0,008  | 0,010  | 0,001  | 0,017  | 0,023  | 0,022  | 0,017  | 0,000  | 0,017  | 0,023  |
|                          | DAP | 0,007  | 0,014  | 0,011  | 0,017  | 0,023  | 0,024  | 0,020  | 0,010  | 0,017  | 0,023  |
| >4m <sup>3</sup><br>n=80 | V   | -0,004 | -0,092 | 0,017  | 0,095  | 0,013  | 0,014  | -0,099 | 0,017  | 0,095  | 0,013  |
|                          | G   | 0,042  | -0,067 | 0,021  | 0,100  | 0,038  | 0,072  | -0,054 | 0,021  | 0,100  | 0,038  |
|                          | DAP | 0,053  | -0,085 | 0,046  | 0,079  | 0,037  | 0,092  | -0,054 | 0,046  | 0,079  | 0,037  |
| >6m <sup>3</sup><br>n=22 | V   | 0,019  | -0,247 | 0,169  | -0,017 | -0,232 | -0,057 | -0,211 | 0,169  | -0,017 | -0,232 |
|                          | G   | 0,054  | -0,251 | 0,132  | -0,021 | -0,223 | 0,037  | -0,188 | 0,132  | -0,021 | -0,223 |
|                          | DAP | 0,075  | -0,299 | 0,185  | -0,075 | -0,294 | 0,054  | -0,233 | 0,185  | -0,075 | -0,294 |
| >8m <sup>3</sup> n=9     | V   | 0,102  | -0,123 | 0,349  | 0,415  | 0,627  | -0,138 | -0,052 | 0,349  | 0,415  | 0,627  |
|                          | G   | 0,175  | -0,121 | 0,155  | 0,186  | 0,271  | -0,085 | -0,045 | 0,155  | 0,186  | 0,271  |
|                          | DAP | 0,128  | -0,138 | 0,324  | 0,463  | 0,519  | 0,015  | -0,022 | 0,325  | 0,463  | 0,519  |
| >10m <sup>3</sup><br>n=5 | V   | 0,881  | 0,433  | 0,386  | 0,459  | 0,491  | 0,612  | 0,251  | 0,386  | 0,459  | 0,491  |
|                          | G   | 0,873  | 0,513  | 0,644  | 0,573  | 0,548  | 0,682  | 0,463  | 0,644  | 0,574  | 0,548  |
|                          | DAP | 0,871  | 0,962  | 0,544  | 0,942  | 0,934  | 0,699  | 0,859  | 0,544  | 0,942  | 0,934  |
| >12m <sup>3</sup><br>n=4 | V   | 0,771  | 0,837  | 0,098  | 0,771  | 0,856  | 0,587  | 0,528  | 0,098  | 0,771  | 0,856  |
|                          | G   | 0,751  | 0,957  | 0,566  | 0,948  | 0,937  | 0,704  | 0,868  | 0,566  | 0,948  | 0,937  |
|                          | DAP | 0,753  | 0,962  | 0,544  | 0,942  | 0,934  | 0,699  | 0,859  | 0,544  | 0,942  | 0,934  |

Tabela 7 - Correlação de Pearson para as médias dos pixels da UT-12

| Todos os volumes         |     | NDVI    |         |         |         |         | SAVI    |         |         |         |         |
|--------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                          |     | 28/jan  | 13/fev  | 04/jun  | 08/set  | 26/out  | 28/jan  | 13/fev  | 04/jun  | 08/set  | 26/out  |
|                          |     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| n= 720                   | V   | 0,0250  | 0,0121  | 0,0131  | 0,0032  | -0,0028 | 0,0086  | -0,0242 | -0,0242 | 0,0032  | -0,0028 |
|                          | G   | 0,0279  | 0,0097  | 0,0083  | 0,0001  | -0,0040 | 0,0065  | -0,0283 | -0,0283 | 0,0001  | -0,0040 |
|                          | DAP | 0,0396  | 0,0116  | 0,0086  | -0,0035 | -0,0044 | 0,0099  | -0,0191 | -0,0191 | -0,0035 | -0,0044 |
| >4m <sup>3</sup><br>n=89 | V   | 0,0390  | 0,0006  | -0,0101 | 0,0638  | 0,0373  | 0,0923  | -0,0310 | -0,0310 | 0,0638  | 0,0373  |
|                          | G   | 0,0258  | -0,0088 | -0,0361 | 0,0582  | 0,0372  | 0,0819  | -0,0265 | -0,0265 | 0,0582  | 0,0372  |
|                          | DAP | 0,0148  | 0,0048  | -0,0638 | 0,0464  | 0,0353  | 0,0759  | -0,0100 | -0,0100 | 0,0464  | 0,0353  |
| >6m <sup>3</sup><br>n=32 | V   | 0,1559  | 0,0534  | 0,0626  | 0,1812  | -0,0507 | 0,1944  | -0,0137 | -0,0137 | 0,1812  | -0,0506 |
|                          | G   | 0,1273  | 0,0369  | 0,0163  | 0,1709  | -0,0504 | 0,1692  | -0,0147 | -0,0147 | 0,1709  | -0,0503 |
|                          | DAP | 0,1014  | 0,0509  | -0,0371 | 0,1317  | -0,0651 | 0,1504  | 0,0082  | 0,0082  | 0,1317  | -0,0650 |
| >8m <sup>3</sup><br>n=12 | V   | 0,2556  | -0,0002 | 0,1151  | 0,3898  | 0,1072  | 0,2596  | -0,0796 | -0,0796 | 0,3898  | 0,1073  |
|                          | G   | 0,2179  | -0,0202 | 0,0665  | 0,3707  | 0,0753  | 0,2240  | -0,0887 | -0,0887 | 0,3707  | 0,0754  |
|                          | DAP | 0,2320  | -0,0189 | 0,0261  | 0,3618  | 0,0941  | 0,2453  | -0,0577 | -0,0577 | 0,3618  | 0,0943  |
| >10m <sup>3</sup><br>n=5 | V   | 0,3691  | 0,1790  | 0,3914  | 0,3770  | 0,4268  | 0,2823  | -0,2783 | -0,2783 | 0,3773  | 0,4270  |
|                          | G   | 0,2608  | 0,0651  | 0,3498  | 0,4386  | 0,4613  | 0,1709  | -0,3930 | -0,3930 | 0,4388  | 0,4615  |
|                          | DAP | 0,2212  | 0,0970  | 0,3000  | 0,4118  | 0,5194  | 0,1258  | -0,3775 | -0,3775 | 0,4119  | 0,5196  |
| >12m <sup>3</sup><br>n=4 | V   | -0,1049 | -0,2643 | 0,2323  | 0,6080  | 0,5284  | -0,2926 | -0,7037 | -0,7037 | 0,6080  | 0,5285  |
|                          | G   | -0,1118 | -0,2923 | 0,2276  | 0,6021  | 0,5238  | -0,2926 | -0,7255 | -0,7255 | 0,6021  | 0,5239  |
|                          | DAP | -0,1599 | -0,2257 | 0,1756  | 0,5628  | 0,5813  | -0,3505 | -0,6905 | -0,6905 | 0,5628  | 0,5814  |

O fato da área de estudos ser localizada em floresta natural (Floresta ombrófila densa - Amazônia) tem grande influência nos resultados já que a composição das espécies arbóreas, a estrutura do dossel, o sombreamento associado aos indivíduos emergentes e o vigor da vegetação são considerados fatores importantes que afetam a vegetação (LU, 2001).

Ao observar a média dos indivíduos por pixel acima de 4 m<sup>3</sup>, principalmente nos meses de fevereiro na UT11, para NDVI e SAVI, a correlação se mostrou negativa. Assim como na UT12, em junho, para NDVI e em fevereiro para SAVI. Entretanto, estes valores são ainda considerados desprezíveis.

As classes com volumes maiores progressivamente vão mostrando um incremento nos valores das correlações. Para a média dos indivíduos por pixel acima de 8m<sup>3</sup> os melhores resultados na UT11 concentram-se no mês de outubro, volume e DAP apresentando correlação moderada com o NDVI e SAVI. Na UT12 os maiores valores foram no mês de setembro, porém apresentando uma correlação fraca.

Para a média dos indivíduos por pixel acima de 10 m<sup>3</sup> as diferenças no NDVI e SAVI ficaram nítidas. Na UT11 os maiores valores para NDVI encontram-se no mês janeiro, exceto para DAP que apresentou correlações muito forte nos meses de fevereiro, setembro e outubro para NDVI e em outubro para SAVI. Já na UT12, o NDVI e o SAVI do mês de outubro se destacam com correlações moderadas do volume e área basal para ambos índices de vegetação. Já para a média dos indivíduos por pixel acima de 12m<sup>3</sup> o destaque foram as correlações muito forte ou forte apresentada em quase todas as datas e variáveis dendrométricas. O mesmo não aconteceu com a UT12 que nos meses mais úmidos voltou a apresentar correlações negativas desprezíveis.

Segundo Sader et al. (1989) o NDVI, e conseqüentemente o SAVI, não detectam de forma eficiente as diferenças na biomassa de florestas mais velhas do que aproximadamente 15-20 anos, confirmando os resultados obtidos. Porém ao estratificar os dados, os resultados apresentam maiores correlações, pois os efeitos causados pela heterogeneidade e estrutura de dossel são amenizados.

Ao separar em classes de volumes, tanto os indivíduos quanto as médias dos pixels, a amostra a ser avaliada foi reduzida significativamente. Em um dos casos apenas 4 dados pertenciam à amostra. No entanto, não são esperadas altas correlações tendo em vista as enormes condições que prejudicam essa análise, principalmente relacionadas às condições atmosféricas e locais (HARRELL et al.,1995; TREITZ, 1999; CHEN et al., 2004; MASSELI et al., 2004; CANAVESI e POZONI, 2007; BERRA et al., 2012). Assim, um maior conjunto de dados, como área total de manejo florestal, são condições que podem validar essa análise com maior confiabilidade.

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se que mesmo que o NDVI e o SAVI não tenham tido boas correlações com volume, área basal e DAP com todos os indivíduos amostrados, essa ineficiência dos índices é ocasionada por fatores físicos e biológicos, estrutura de dossel, sombreamento idade do povoamento e sazonalidade climática.

Os resultados foram melhores ao se estratificar os dados. Essa abordagem de estudo e monitoramento remoto das unidades de trabalho florestais tem enorme potencial para contribuir com os inventários na verificação de prognoses de produção, após alguns ajustes, como por exemplo, a utilização de um número maior de amostras, dados de censo florestal ou ainda, utilizando classificadores automatizados mais robustos.

## 6. BIBLIOGRAFIA REFERENCIAL

- BANNARI, A. MORIN, D.; BONN, F.; HUETE, A. R. A review of vegetation indices. **Remote Sensing Reviews**, v.13, p. 95-120, 1995.
- BARBOSA, K.M.N. **Monitoramento espacial de biomassa carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. 2006. 131p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- BERRA, ELIAS FERNANDO ET AL. Estimativa do volume total de madeira em espécies de eucalipto a partir de imagens de satélite Landsat. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, 2012.
- CANAVESI, V.; PONZONI, F. J. **Relações entre variáveis dendrométricas de plantios de Eucalyptus sp. e valores de FRB de superfície de imagens do sensor TM/Landsat 5**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 13, p. 1619-1625, 2007.
- CHEN, JIN ET AL. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. **Remote sensing of Environment**, v. 91, n. 3, p. 332-344, 2004.
- CUNHA, U. S. **Análise da estrutura espacial horizontal de uma floresta de terra firme da Amazônia**. 2003. 126p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 de junho 2017.
- EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.
- EUGENIO Y. ARIMA, ROBERT T. WALKER, STEPHEN PERZ, AND CARLOS SOUZA JR. **Explaining the fragmentation in the Brazilian Amazonian forest**. *Journal of Land Use Science*\_Vol. 11, Iss. 3, 2016.
- FOODY, G.M.; BOYD, D.S.; CUTLER, M.E.J. 2003. **Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions**. *Remote Sensing of Environment*, 85(4): 463-474.
- FLORENZANO, TEREZA GALLOTTI. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- HARRELL, P.A., BOURGEOU-CHAVEZ, L.L., KASISCHKE, E.S., FRENCH, N.H.F., CHRISTENSEN, N.L., 1995. Sensitivity of ERS-1 and JERS-1 radar data to biomass and stand structure in Alaskan boreal forest. **Rem. Sens. Environ.** 54, 247–260.

- HORLER, D.N.H., AHERN, F.J., 1986. **Forestry information content of Thematic Mapper data**. *Int. J. Rem. Sens.* 7, 405–428.
- HUETE, ALFREDO R. A. soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E.P., GAO, X., FERREIRA, L.G. Overview of radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, 195-213, 2002.
- HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest Mensuration**. New York: John Wiley & Sons. 3ed. 1982. 337p.
- IBAMA. **Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente E Recursos Naturais Renováveis**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/amazonia.htm>. Acesso em 15 de junho de 2017.
- IBGE. **Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=120050>. Acesso em: 03 maio. 2017.
- INPE. 2008. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite: 2007-2008**. São José dos Campos. SP. <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>. Acesso em 12 de maio de 2017.
- JOHNS, JENNIFER S.; BARRETO, PAULO; UHL, Christopher. **Os danos da exploração de madeira com e sem planejamento na Amazônia Oriental**. 1998.
- LAPOINTE, FRANÇOIS-JOSEPH; LEGENDRE, PIERRE. Statistical significance of the matrix correlation coefficient for comparing independent phylogenetic trees. **Systematic Biology**, v. 41, n. 3, p. 378-384, 1992.
- LU D; MAUSEL P; BRONDÍZIO E; MORAN E. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. **Forest Ecology and Management**; 198: 149–167, 2004.
- LU, D. **Estimation of forest stand parameters and application in classification and change detection of forest cover types in the Brazilian Amazon Basin**, Ph.D. Dissertation, Indiana State University, 2001.
- MASELLI, FABIO. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data. **Remote sensing of environment**, v. 89, n. 4, p. 423-433, 2004.
- MMA. **Ministério Do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia> Acesso em: 24 de maio de 20017.
- PÉLLICO , S., NETTO. **Inventário florestal**. Ed. S. Péllico Netto, D.A. Brena, 1997

PONZONI, F. J. **Comportamento Espectral da Vegetação**. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (org) Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.

ROSENDO, J. DOS S. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis**. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005.

ROSENQVIST, A. et al. A review of remote sensing technology in support of the Kyoto protocol. **Environmental Science & Policy**, v. 6, p. 441–455, Oct. 2003.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation**. Greenbelt: National Aerospace Spatial Administration, 1973. 371p. MD:, NASA/GSFC Type III, Final Report.

SCOLFARO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. **Modelagem da produção, idade de florestas nativas, distribuição espacial das espécies e análise estrutural**. In: Manejo Florestal. UFLA/FAEPE, Lavras, p.189-246. 1998.

SILVA, J. N. M. **Manejo Florestal**. 2ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 46 p.

VUOLO, F.; MATTIUZZI, M.; ATZBERGER, C. Comparison of the Landsat Surface Reflectance Climate Data Record (CDR) and manually atmospherically corrected data in a semi-arid European study area. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.42, n.1, p.1-10, 2015.

TREITZ, P.M., HOWARTH, P.J., 1999. **Hyperspectral remote-sensing for estimating biophysical parameters of forest ecosystems**. Prog. Phys. Geogr. 23, 359–390.

UBIALLI, J. A. et al. Comparação de métodos e processos de amostragem para estimar a área basal para grupo de espécies em uma floresta ecotonal da região norte matogrossense. **Acta Amazônica**, Manaus, v.39, n.2, p. 305-314, 2009.

USGS. **United States Geological Survey**. Disponível em: [https://phenology.cr.usgs.gov/ndvi\\_foundation.php](https://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_foundation.php) Acesso em: 26 abril. 2017, última vez modificado :12 de janeiro,2015.

USGS. **United States Geological Survey**. Product guide: Landsat surface reflectance-derived spectral indices. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/documents/si\\_product\\_guide\\_sr\\_samples.pdf](http://landsat.usgs.gov/documents/si_product_guide_sr_samples.pdf)>. Acesso em: 30 de maio,2017.

Yi, J.L Rodriguez. **Mapeamento e monitoramento da vegetação do estado do Mato Grosso através de imagens AVHRR-NOAA**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 1997.