



**ANÁLISES POR REDES COMPLEXAS DA DINÂMICA DO USO E  
OCUPAÇÃO DA TERRA DAS ÁREAS DESFLORESTADAS NO  
ESTADO DO PARÁ**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/INPE/CNPq)**

**Igor dos Santos e Silva (Universidade Federal Rural da Amazônia, Bolsista  
PIBIC/CNPq)  
E-mail: igorssilva20@gmail.com**

**MARCOS ADAMI (INPE/CRA, Orientador)  
E-mail: marcos.adami@inpe.br**

**Julho de 2019**



# **ANÁLISES POR REDES COMPLEXAS DA DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DAS ÁREAS DESFLORESTADAS NO ESTADO DO PARÁ**

Relatório Final do Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE/CRA), referente ao período da bolsa vigente como requisito obrigatório para a conclusão do projeto.

Julho de 2019



## AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador e orientador, professor Dr. Marcos Adami, pelo apoio em todas as etapas e desenvolvimento da pesquisa.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Centro Regional da Amazônia (INPE/ CRA) pelo apoio e contribuição com toda a infraestrutura necessária para a execução da pesquisa.

Aos colegas do INPE, Larisse Souza, Jones Remo e Larissa Sousa pelo apoio técnico e incentivo no desenvolvimento da pesquisa, oferecendo ajuda e sanando dúvidas.

Ao CNPq pela bolsa de estudos que pôde viabilizar este trabalho.

A minha família e demais colegas, amigos que ajudaram direta ou indiretamente, com apoios e contribuição para este trabalho.



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>OBJETIVOS DO TRABALHO.....</b>	<b>11</b>
OBJETIVO GERAL .....	11
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	11
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>11</b>
Processo de deflorestamento na Amazônia Legal .....	11
O município de Tomé-Açu e sua atuação no uso e ocupação da terra.....	13
<b>MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS .....</b>	<b>13</b>
Localização Tomé-Açu .....	13
Materiais .....	16
Metodologia.....	16
Matriz de Confusão e Índice Kappa.....	18
Algoritmo <i>Random Forest</i> .....	19
Matriz de Transição .....	20
<b>ANÁLISES E RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>RERÊNCIAS.....</b>	<b>24</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Gráfico da evolução do desmatamento na Amazônia Legal	12
Figura 04 –Localização do município de Tomé-Açu	15
Figura 05 – Classificação do uso do solo no município de Tomé Açu para os anos de 2004 e 2014	21



## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Características das classes do mapeamento do TerraClass

.....  
17

Quadro 02–Exemplo de Matriz de Confusão para um Classificador Qualquer

.....  
18

Quadro 03– Matriz de Transição para os anos de 2004 e 2014.

.....  
22



## **RESUMO**

A mudança na ocupação do uso da terra nas florestas tropicais se torna cada vez mais perceptível devido as intensas mudanças que ocorrem no uso de sua cobertura. Mudanças do tipo ocorrem principalmente por conta de ações antrópicas advindas da exploração de recursos naturais e mudanças de florestas para outros tipos de uso do solo como agricultura ou pastagens. O município de Tomé-Açú tem como principal economia a agricultura do tipo familiar, porém com o avanço da tecnologia e da crescente demanda por maiores regiões de plantio, o uso e cobertura do solo da região vem apresentando mudanças significativas. O aumento dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) fazem com que a região apresente dinâmicas do



uso do solo muitas das vezes não percebidas, degradando regiões antes com florestas primárias e mudando para outros tipos de classes. A pesquisa em si utilizou as classes presentes no projeto TerraClass e com o auxílio da plataforma Google Earth Engine, as seguintes classes foram utilizadas e analisadas: Floresta, Pasto, Vegetação Secundária, Hidrografia, Agricultura, Outros e Solo Exposto. O procedimento utilizado para gerar os dados foram feitos a partir do algoritmo classificador Random Forest. Além disso, Matrizes de Transição e Confusão foram utilizadas para compreender e entender o comportamento e mudanças das classes. A principal mudança perceptível nos dados analisados foi a perda da Floresta primária para outros usos como Agricultura e Pastagem e a plataforma Google Earth Engine vem com o objetivo de analisar esse comportamento de forma rápida e automatizada, oferecendo dados precisos que possam auxiliar e corroborar para esta pesquisa e futuras pesquisas que venham a analisar a dinâmica do uso e ocupação do solo no estado do Pará.

**Palavra Chave:** Google Earth Engine, Uso e Ocupação da Terra, Dinâmica de Transição, Random Forest, Nordeste Paraense.

## INTRODUÇÃO

O processo de ocupação da Amazônia é de certa forma bastante heterogêneo e acelerou a partir dos anos 1970, por meio de ações indiretas do governo, como a abertura de estradas e financiamentos de grandes projetos agropecuários e exploração mineral (AGUIAR; CÂMARA; ESCADA, 2007; FEARNSSIDE, 2005; SILVA *et al.*, 2013). Ainda não se tem um entendimento completo da complexa evolução da paisagem ao olhar o mosaico de feições que é formado, principalmente devido à heterogeneidade que o uso e ocupação é implantado por antigos povos da região frente a novos projetos de infraestrutura do governo federal (ALVES, 2002; BECKER, 2005; ESCADA, 2003; LAMBIN; GEIST, 2006; LAMBIN; GEIST; LEPERS, 2003; LAMBIN; LINDERMAN, 2006).

Além disso, podemos ver com o avançar dos anos processos de mudanças ocasionadas em florestas tropicais, ocasionadas principalmente a ações antrópicas resultantes da exploração dos recursos naturais, além das mudanças de florestas em outros usos como a agricultura, ocasionado mudanças profundas na paisagem (DOMINGUES; BERMANN, 2012) e esse crescimento dos processos produtivos acaba por engolir áreas de florestas muitas vezes executadas de formas inadequadas, pois não há planejamentos prévios, não levando em conta o uso sustentável do espaço e suas características ali presentes (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Fazendo uma análise do quadro geral da Amazônia Legal, podemos verificar que o grau de desmatamento da mesma até o ano de 2014 correspondeu a 762.464km<sup>2</sup>, possuindo maior abrangência as áreas de pastagens com um total de aproximadamente 458.000km<sup>2</sup> que podem ser divididos em: pasto limpo (337.000km<sup>2</sup>), pasto sujo (60.000km<sup>2</sup>), regeneração com pasto (42.000km<sup>2</sup>) e pasto com solo exposto (63km<sup>2</sup>), indicando um problema ambiental sério ocasionado pela sociedade, com enfoque para as áreas de agricultura que correspondem a 45.000km<sup>2</sup> (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Com o crescimento da agricultura, surge a necessidade buscar novas áreas, com grandes extensões e de baixo custo para acompanhar o crescimento nacional e isso trouxe novas mudanças para o território e as fronteiras da exploração, como o avanço do desmatamento devido a políticas de colonização e políticas econômicas, como a exploração da madeira, o avanço da pecuária assim como a popularização com agronegócio que trouxe a cultura da soja sobre áreas de pastagem (HECHT 1985; NEPSTAD *et al.*, 2001; MERTENS; FEARNSIDE, 2002; ALENCAR *et al.*, 2004).

Análises do histórico de desmatamento na região da Amazônia Legal são datadas desde o ano de 1988, com o projeto PRODES realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Junto com a EMBRAPA, o INPE/CRA trouxe a público dados a respeito da cobertura da terra em toda a região legal da Amazônia, por meio do projeto TerraClass e esse projeto trás um panorama estatístico do uso e cobertura da terra para os anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014.

Dentro do quadro da Amazônia Legal, um dos municípios que mais apresentam dinâmicas no processo de uso da terra é o município de Tomé-Açú, devido a sua grande atividade em cultivos de sistemas Agroflorestais, com grande variedade de espécies agrícolas e florestais. Os plantios de espécies frutíferas ganharam relevância devido a busca por produtos de alta qualidade para exportação, tendo grande interesse por parte do pequeno ao grande produtor, (HOMMA, 2016).

Como as mudanças de uso da terra apresentam um alto grau de complexidade, um dos processos aliados do monitoramento do território é o sensoriamento remoto, fazendo uso de sistemas complexas e assim permitir a renovação entre os elementos e o meio ambiente (BARBIERI, 2010). Assim, a ferramenta da Google conhecida como Google Earth Engine vem com a proposta de reunir peta-bytes de imagens de satélites em conjunto com dados geoespaciais para disponibilizar a cientistas de diversas áreas do sensoriamento remoto para quantificar mudanças na superfície da Terra (GOOGLE, 2018).

## **OBJETIVOS DO TRABALHO**

### **OBJETIVO GERAL**

Analisar através da plataforma Google Earth Engine a dinâmica do uso e ocupação da Terra para o município de Tomé-Açu.

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Realizar análise estatística de comportamento dinâmica das mudanças de classes do projeto TerraClass referente aos anos de 2004, 2008, e 2014 para o município de Sapezal utilizando a plataforma Google Earth Engine;
- Construir um banco de dados na plataforma Google Earth Engine utilizando como base os dados do TerraClass;
- Compreender as ferramentas da plataforma Google Earth Engine, bem como seus classificadores para estudos posteriores no estado do Pará;

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **Processo de deflorestamento na Amazônia Legal**

O termo “Amazônia Legal” foi instituído pelo Governo Federal através da Lei Federal nº 1.806/1953, abarcando um conjunto de conceitos, análises estruturais e reunindo as regiões com características econômicas, sociais e semelhantes com o fim de planejar de forma organizada os futuros planejamentos sociais e econômicos da região (COUTINHO *et al.*, 2013).

Através de políticas de incentivos fiscais, créditos rurais e programas de colonização, a Amazônia Legal veio apresentando nas últimas décadas características de integração nacional, atraindo milhares de imigrantes para a região e com a modernização dos meios de produção, o processo de exportação de grãos com ênfase na soja. Com isso, a partir dos anos 70, o processo de ocupação teve um crescimento estrondoso, derrubando milhões de hectares de florestas para a criação de pastos, programas de agricultura, colonização e reformas agrárias que culminaram em instabilidade econômica e política (BECKER; MACHADO, 1998; ALVES, 2001; SILVA, 2003).

A partir dessas práticas, o deflorestamento ocasiona alterações no ecossistema, causando impactos sobre a estrutura do solo, ciclos hidrológicos e com o aumento do

agronegócio, um crescimento nos efeitos decorrentes de gases do efeito estufa (SMITH *et al.*, 1995). Devido a rápida expansão da agricultura na Amazônia Legal, não houve um crescimento igual para as políticas de proteção ambiental, o que fez com que a dinâmica de ocupação da terra fosse desordenada, tendo visto que leis como a de nº 6.938/1981 vieram após o boom do crescimento da agricultura e afins (BRASIL, 1981).

Conforme mostra a Figura 01, é possível analisar que o desmatamento não apresenta uma tendência, variando ao longo dos anos com um decréscimo das práticas a partir de 2005 devido a leis mais rígidas de proteção ambiental, como a Lei nº 9.985/2000 que instituiu o sistema nacional de unidades de conservação da natureza. O estado do Mato Grosso segue líder no deflorestamento, com 20% do todo detectado na Amazônia o que abrange aproximadamente 1.300 km<sup>2</sup> de floresta desmatada em corte raso no ano de 2017.

Figura 01 – Gráfico mostrando evolução do desmatamento na Amazônia Legal



Fonte: INPE/ PRODES (1988-2017).

A alta do desmatamento veio no ano de 1995, com aproximadamente 29.000 km<sup>2</sup> ocasionado pela estabilidade que o Plano Real trouxe. Além disso, por meio do governo federal, o Código Florestal teve modificações determinando uma mudança de 50% para 80% da área de reserva legal dentro da Amazônia Legal. Por fim, a partir do ano de 2002 houve um crescimento do desmatamento com maior pico no ano de 2004 com aproximadamente 27.000 km<sup>2</sup> de área desmatada (FEARNSIDE, 2002; FERREIRA; COELHO, 2015).

Segundo Becker (2004), a Amazônia apresenta um quadro conflituoso devido a diferentes interesses no campo do meio ambiente, economia e conflitos geopolíticos, gerando discussões a respeito do uso do território. Em uma escala nacional os interesses estão relacionados às condições de fronteira de recursos naturais, áreas de expansão e intensificação do povoamento, já no âmbito regional, as demandas sociais junto com outros interesses trazendo uma dinâmica acelerada para a transformação e uso do solo.

### **O município de Tomé-Açu e sua atuação no uso e ocupação da terra**

Como alternativa para o desmatamento na Amazônia, o município de Tomé-Açu apresentou de forma eficiente o uso intensivo de SAF's, com aumento de produtividade e múltiplos benefícios, tanto no campo ambiental, como no social e econômico (DUBOIS, 1996; OLIVEIRA, 2009).

Os Sistemas Agroflorestais se tornaram uma dinâmica diversificada que contribui para a estabilidade da produção, aumentando os benefícios em diversas áreas para propriedades rurais, o que torna-se uma alternativa para a redução do desmatamento, já que rompe o ciclo da agricultura migratória que era comum na região de Tomé-Açu (SANTOS, 2000).

## **MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS**

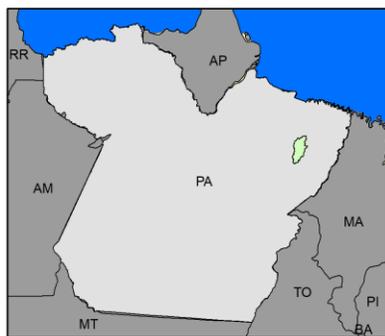
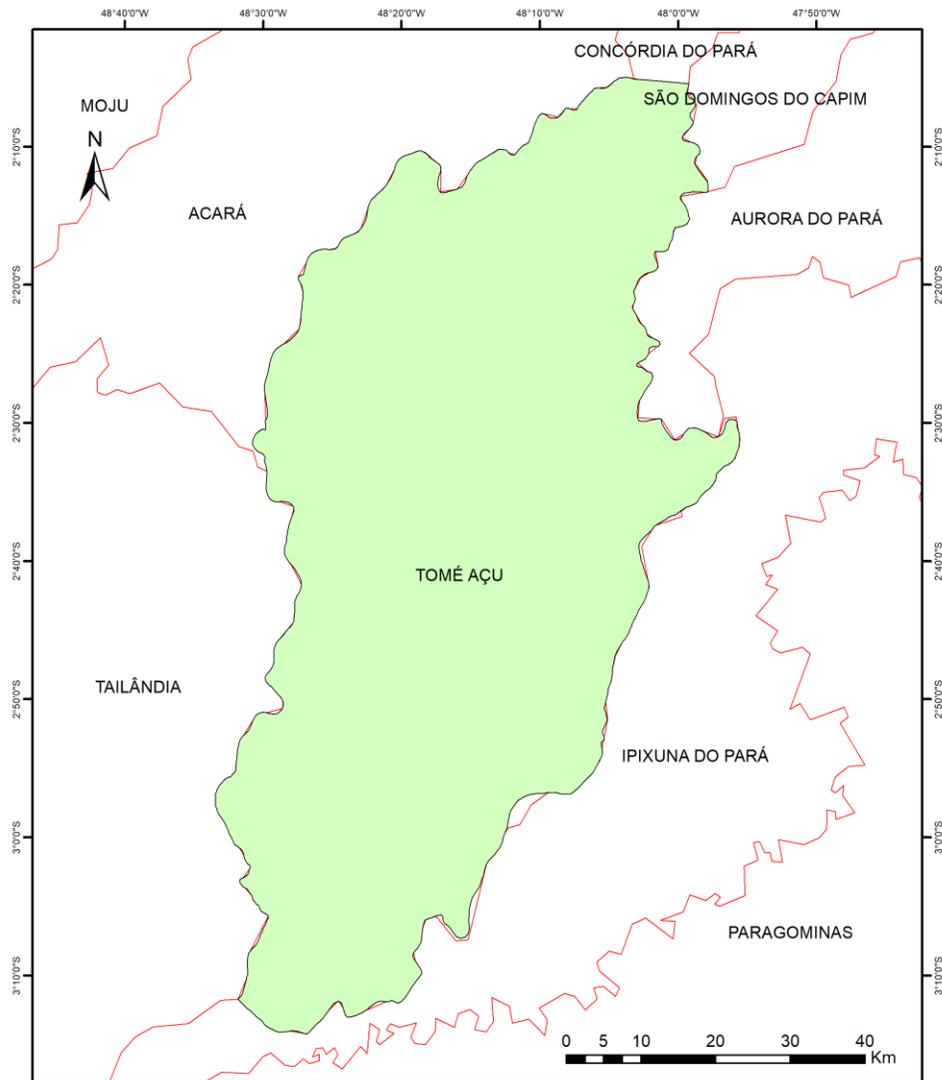
### **Localização Tomé-Açu**

O município de Tomé-Açu (Figura 2), situado na Mesorregião do Nordeste Paraense, estado do Pará, à 230 km de distância da capital Belém, com sede localizada nas coordenadas 02°25'08"S e 48°09'08"W e área ocupada de 5.145,361 km<sup>2</sup>. No último censo, realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), a população do município estava estimada em 56.518 habitantes com densidade populacional de 10,98 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010; IDESP, 2014).

O clima da região caracteriza-se como tropical chuvoso, com estação seca bem definida e possui classificação do tipo Am segundo Köppen. Sua temperatura média anual situa-se em torno de 27° C, com umidade relativa de 85%, média de precipitação anual variando de 2.144 mm a 2.581mm. Os solos presentes na região de Tomé-Açu são: latossolos amarelos, latossolos vermelho-amarelado e argilosos amarelos (IBGE, 2010; IDESP, 2014).

Florestas Secundárias ou capoeiras são a vegetação predominante na região, com remanescência de florestas Ombófilas densas dos Baixos Platôs e Densa de Platôs (IDESP, 2014). Segundo Bolfe et al (2011), a agricultura é a base econômica do local, tendo a pimenta do reino e fruticultura tropical de espécies nativas e exóticas, com desenvolvimento nos SAF.

Figura 02 – Localização do município de Tomé-Açu



**Legenda**

- TOMÉ AÇU
- DIVISÃO MUNICIPAL - PARÁ
- PARÁ
- BRASIL

**SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS**  
 Sistema de Coordenadas Geográficas  
 DATUM: SIRGAS 2000  
 Dados Vetoriais: IBGE

Fonte: Autor (2019).

## **Materiais**

Para delimitar o município de Sapezal foi utilizado o arquivo em formato digital *shapefile* obtido por meio da base cartográfica digital do IBGE, em escala 1:250.000. O estudo foi feito com base nas classes do Projeto TerraClass, criando do zero um banco de dados teste para melhor entendimento da plataforma Google Earth Engine.

Para análise, tratamento e obtenção dos dados das imagens, a plataforma Google Earth Engine foi utilizada para o presente trabalho. Para tal, foi criado um código em JavaScript para realizar a obtenção das coleções de imagens Landsat 4, Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8 além de realizar a fusão entre elas, aplicando filtros para remoção de nuvens e outros ruídos que causassem problemas na análise dos dados.

A elaboração do mapa de localização foi feito em ambiente SIG utilizando o *software* ArcGis versão 10.5. A elaboração da Matriz de confusão foi feita na plataforma Google Earth Engine, assim como os gráficos de comportamento NDVI.

## **Metodologia**

O projeto TerraClass faz uso de diferentes classes para mapeamento, sendo elas: Agricultura Anual, Área Não Observada, Área Urbana, Desflorestamento, Floresta, Hidrografia, Mosaico de Ocupações, Não floresta, Mineração, Outros, Pasto com Solo Exposto, Pasto Limpo, Pasto Sujo, Reflorestamento, Vegetação Secundária e Regeneração com Pasto (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Posteriormente, foi realizado uma filtragem anual nas imagens, escolhem os anos de 2004, 2008 e 2014. Assim sendo, o município escolhido para estudos foi o de Sapezal, localizado no estado de Mato Grosso, pois o mesmo detém a maior produção anual de soja e o uso de imagens de satélite servirão com base para análise da dinâmica de mudanças das classes presentes no TerraClass.

As classes escolhidas para isso foram: Floresta, Solo Exposto, Vegetação Secundária, Pasto, Hidrografia, Agricultura e Outros. Tendo as classes em mente, realizou-se a classificação das imagens com base nelas, utilizando o classificador *Random Forest* que é uma das ferramentas disponíveis na plataforma GEE. As características de cada classe estão descritas no Quadro 01.

Quadro 01 – Característica das classes do mapeamento do TerraClass

Classes	Descrição
Floresta	<p>Áreas contendo floresta primária pertencente a Amazônia Legal, não possuindo alteração com os seguintes padrões:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrato arbóreo com presença de árvores com folhas latifoliadas, não decíduas com presença de árvores entre 15 e 60 metros.</li> <li>• Estrato arbustivo com árvores de folhas latifoliadas, não decíduas com presença de árvores entre 3 e 15 metros de altura.</li> </ul>
Solo Exposto	<p>Áreas que após o corte raso da floresta e o desenvolvimento de alguma atividade agropastorial, apresentam uma cobertura de pelo menos 50% do solo exposto.</p>
Vegetação Secundária	<p>Área que, após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente.</p>
Pasto	<p>Áreas que estão no início do processo de regeneração da vegetação nativa após o corte raso da vegetação natural e desenvolvimento de alguma atividade, com predominância de vegetação herbácea e cobertura de espécies gramíneas entre 90% e 100%</p>
Hidrografia	<p>Águas superficiais com 100% de cobertura, padrão vertical do tipo 1, representado por rios, lagos e represas tendo presença mandatória de corpos de água.</p>
Agricultura	<p>Extensa área com predominância de culturas anuais, com presença majoritária de grãos, empregando padrões de alta tecnologia, como mecanização e sementes certificadas.</p>
Outros	<p>Áreas que não se enquadram nas chaves de classificação e apresentam padrão de cobertura diferenciada de todas as demais classes.</p>

Fonte: COUTINHO *et al.* (2013)

Para efeito de melhor compreensão da plataforma Google Earth Engine, a classe Pasto foi simplificada, junto com a classe Pasto com Solo Exposto que se tornou apenas Solo Exposto e a classe Área Urbana foi inserida dentro da classe Outros.

### Matriz de Confusão e Índice Kappa

Uma das ferramentas que a plataforma Google Earth Engine oferta é a matriz de confusão. Esta tem sido reconhecida como a mais importante técnica utilizada atualmente na estimativa de exatidão de produtos de dados para sensores remotos (STORY & CONGALTON, 1986; SKIDMORE & TURNER, 1989).

Carrijoet *al.* (2004) trabalham com a matriz a partir de uma hipótese  $h$ , oferecendo uma medida efetiva do modelo de classificação, mostrando o número de classificações corretas contra as classificações preditas para cada classe a partir de um conjunto de exemplos  $T$ . O Quadro 02 mostra os resultados totais em duas dimensões: as classes verdadeiras e as preditas, para cada  $k$  classes diferentes de um universo  $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_k\}$  com cada elemento  $M(C_i, C_j)$  da matriz,  $i, j = 1, 2, 3, \dots, k$  que representam o número de exemplos de  $T$  que de fato pertencem à classe  $C_i$ , mas na classificação entraram como pertencentes à classe  $C_j$ .

Quadro 02 – Exemplo de Matriz de Confusão para um classificador qualquer

		Tempo 02						
Tempo 01	Classe	Predita $C_1$	Predita $C_2$	Predita $C_3$	.	.	.	Predita $C_k$
	Verdadeira $C_1$	$M(C_1, C_1)$	$M(C_1, C_2)$	$M(C_1, C_3)$	.	.	.	$M(C_1, C_k)$
	Verdadeira $C_2$	$M(C_2, C_1)$	$M(C_2, C_2)$	$M(C_2, C_3)$	.	.	.	$M(C_2, C_k)$
	Verdadeira $C_3$	$M(C_3, C_1)$	$M(C_3, C_2)$	$M(C_3, C_3)$	.	.	.	$M(C_3, C_k)$
	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.
	Verdadeira $C_k$	$M(C_k, C_1)$	$M(C_k, C_2)$	$M(C_k, C_3)$	.	.	.	$M(C_k, C_k)$

Fonte: Carrijoet *al.* (2004). Adaptado pelo autor (2018).

A partir da matriz de confusão foi avaliado o coeficiente Kappa, na qual demonstra uma concordância, em escala nominal, entre os resultados das classificações e as amostras

de referência (COHEN, 1960). A tabela X apresenta a escala de concordância Kappa na qual associam valores do Índice Kappa à qualidade da classificação.

<b>Intervalo Kappa</b>	<b>Concordância</b>
K<0	Péssima
0-0,20	Ruim
0,21-0,40	Moderada
0,41-0,60	Boa
0,61-0,80	Ótima
0,81-1,00	Excelente

Tabela x: Escala do índice Kappa.

Fonte: Cohen (1960)

Para o ano de 2004, o Kappa atingido foi de 0,93 enquanto que para o ano de 2014 o Kappa atingido foi de 0,95. Dessa forma, pode-se ver que para ambas as classificações a Concordância foi de excelente.

### **Algoritmo *Random Forest***

Para a classificação, o algoritmo utilizado foi o *Random Forest* (RF). Ele é um método *ensemble* utilizando classificadores do tipo árvore. Assim, ele trabalha com a construção de uma grande quantidade de árvores de decisão para fora do conjunto de dados a partir de um treinamento único. A RF parte sua construção a partir da contagem dos votos preditos em cada classe e a partir disso, escolhe a classe vencedora a partir dos votos ou dados acumulados (BREIMAN, 2001). A plataforma GEE possui em seu catálogo este e uma infinidade de outros classificadores e, como forma de teste, o RF foi o escolhido para melhor entendimento.

Com base no código JavaScript elaborado pelo autor, foi feita a classificação da do município de Sapezal com base no classificador *Random Forest*. As classificações foram feitas com as classes previamente escolhidas do projeto TerraClass, gerando resultados para os anos de 2004, 2008 e 2014. A partir disso, foram geradas Matrizes de Confusão para cada ano tendo como base as classes escolhidas e analisadas a partir dos dados mostrados, junto com isso os gráficos em NDVI para cada ano escolhido. A Figura 05, 06 e 07 mostra os resultados obtidos a partir do classificador RF utilizado dentro da plataforma GEE.

### **Matriz de Transição**

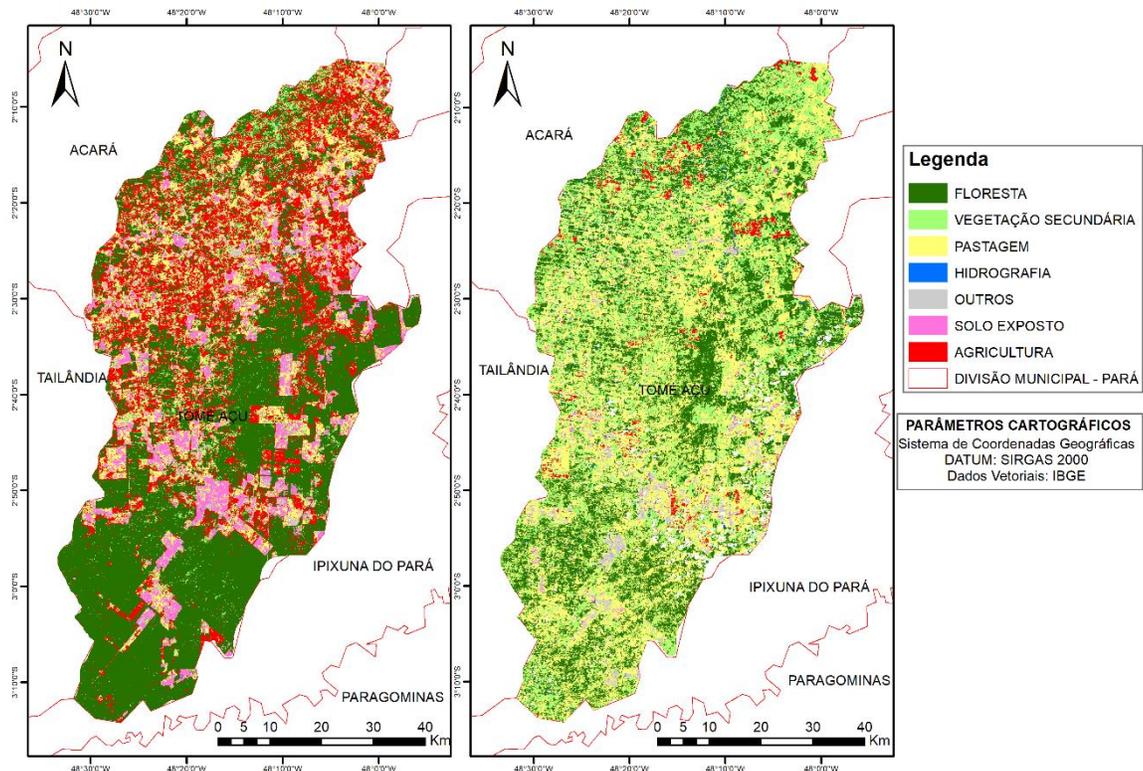
Um método bastante utilizado em literatura com a finalidade de detectar, avaliar e quantificar as modificações ocorridas na paisagem envolve a utilização de matrizes de transição obtidas a partir da comparação entre dois mapas no tempo (ROMERO-RUIZ et al., 2012, SOUSA et al., 2016). Assim, para o período (2004-2014) foi gerada uma matriz de transição entre as classes de uso e cobertura.

A matriz de transição pode representa áreas que estão passando por diferentes transições entre as classes de uso e cobertura do solo, sendo assim representando todos as transições possíveis das classes de uso e cobertura do solo (IPCC, 2003). A diagonal da matriz identifica áreas que permaneceram sobre a mesma categoria entre os anos inicial e final da mesma classe, ou seja, a diagonal de cada uma das matrizes dá-nos informação sobre a probabilidade de os usos que não sofreram alteração entre as datas consideradas. Portanto, o que estiver fora da diagonal serão as classes que sofreram conversão de uso e cobertura do solo, durante o período de estudo.

## ANÁLISES E RESULTADOS

Conforme podemos ver na Figura 03, o município de Tomé-Açu apresentou uma configuração bastante diversa para o uso e cobertura da terra, mostrando uma dinâmica bem acentuada principalmente na parte central e sul do município.

Figura 03 – Classificação do uso do solo no município de Tomé Açu para os anos de 2004 e 2014



Podemos perceber logo de antemão que a principal classe a sofrer mudança foi a floresta, mostrando uma mudança bastante significativa em sua estrutura, passando para as classes Pastagem e Vegetação Secundária. Essa mudança se dá principalmente pelo crescimento dos Sistemas Agroflorestais (SAF's) que se tornaram populares na região. Outra classe que teve sua dinâmica bastante mudada foi a Agricultura, perdendo lugar também para as classes Floresta e Vegetação Secundária, seguido do crescimento de Pastagem na região. O quadro 03 mostra a matriz de transição para os anos de 2004 e 2014 e a mudança que ocorreu entre as classes analisadas.

Quadro 03 – Matriz de Transição para os anos de 2004 e 2014.

		2004							
		Agricultura	Floresta	Hidrografia	Outros	Pasto	Solo Exposto	Vegetação Secundária	Total Geral
2014	Agricultura	48.09	1.42	-	0.53	12.53	9.77	3.71	76.05
	Floresta	-	28.63	-	-	-	-	-	28.63
	Hidrografia	0.51	0.06	0.40	0.01	0.48	0.56	0.23	2.25
	Outros	10.18	1.74	0.01	4.15	23.60	32.95	6.01	79.63
	Pasto	70.94	18.50	0.01	6.84	90.58	83.18	38.46	308.06
	Solo Exposto	2.45	0.50	0.00	0.81	5.08	15.08	1.89	25.82
	Vegetação Secundária	89.53	17.93	-	1.45	40.18	30.71	42.23	222.03
	Total Geral	221.70	69.32	0.43	13.79	172.46	172.25	92.52	742.47

Ao analisar as matrizes de transições entre os anos de 2004 e 2014, observa-se uma contínua redução da área ocupada pela classe agricultura anual, sendo que no período de estudo, esta classe reduziu o seu valor em área em aproximadamente um quarto, passando de 221,70 ha para 76,05 ha. Grande parte da redução da área de agricultura anual se deu pelo aumento das classes pasto e vegetação secundária, com 70,94 ha e 89,53 ha respectivamente.

Para Fearnside (2005) que o crescimento da vegetação secundária sobre as áreas desflorestadas tem efeitos positivos sobre a fertilidade do solo, erosão, regimes hidrológicos local e global e sobre a emissão de gases do efeito estufa. No entanto, ainda segundo Fearnside (2005) quando ocorre a conversão de floresta para vegetação secundária ou para um outro tipo de uso, os impactos são negativos, como a perda de biodiversidade, degradação das florestas e degradação das áreas de bacias hidrográficas.

A classe pasto apresentou um aumento em área durante o período de 2004 a 2014 recebendo área para a classes outros (26,60 ha) e vegetação secundária (40,18). Com relação a classe de pasto, somente 90,50 ha da área permaneceram estáveis, ou seja, esta é considerada como sendo uma classe dinâmica. Para Dias-Filho (2007), este dinamismo se deve ao processo de degradação de pastagem, que envolve um processo contínuo de sucessão.

Quando analisada a classe vegetação, pode-se observar que esta teve aproximadamente 42,23 ha de sua área inalterada, desta forma podemos considerar que esta área possui no mínimo 10 anos e que recebeu um incremento de 89,53 ha da classe agricultura anual, 40,18 ha de pasto e 30,71 de solo exposto

Devido a metodologia de mapeamento adotado pelo PRODES e por consequência pelo TerraClass, a classe floresta não recebeu incremento de nenhuma classe ao longo dos períodos analisados. Esta classe refere-se a floresta primária, intacta ou que ainda não sofreu

significativas alterações em suas características originais, e devido a esta metodologia, depois de transformada é impossível retornar ao seu estado original. Assim, a floresta está perdendo área para praticamente todas as classes de uso e cobertura do solo durante os períodos analisados, como por exemplo, no período de 2004 a 2014, a classe floresta perdeu área para pasto com 18,50 ha e vegetação secundária com 17,93 ha.

A classe solo exposto apresentou um crescimento de área do ano de 2004 para 2014, saltando de 25,82 ha para 172,25 ha, tendo a classe agricultura sendo a maior doadora, com 2,45 ha de área incrementada para a classe solo exposto. Isso se dá devido a mudança de uso do solo na região de Tomé-Açu, com o prepare ou abandono de antigas regiões de plantio para novas regiões.

## **CONCLUSÃO**

O município de Tomé-Açu vem apresentando uma configuração bastante diferente ao longo dos anos em seu uso do solo. Isso se dá principalmente devido ao crescimento dos SAF's, a percepção dos produtores da versatilidade desse sistema e sua importância para a economia local, tornando-se um importante meio de produção para as famílias locais.

O crescimento nesse tipo de sistema faz com que a agricultura clássica venha perdendo espaço, assim como a mudança de antigas regiões de plantio para novos locais. Ainda assim, as florestas vem sendo as principais a sofrer com essa mudança, apresentando perdas em suas regiões e tendo sua substituição por outros usos do solo.

A Plataforma Google Earth Engine tem sido uma importante ferramenta para análise de imagens obtidas por sensores orbitais. Mostrando uma facilidade na obtenção e análise dos dados, esta plataforma tem ajudado na compreensão das dinâmicas de uso e cobertura do solo, principalmente na Amazônia Legal, que é uma região no qual possui uma dinâmica bem acentuada em seu uso do solo.

A plataforma possui potencial e tem visibilidade para ser a ferramenta que será utilizada futuramente para análise dados geoespaciais, com ferramentas de fácil acesso e uma interface amigável para o usuário, com uma game de imagens atualizadas e tratadas para melhor uso.

## **TRABALHOS PUBLICADOS RELACIONADOS COM O PIBIC**

SILVA, I. S.; VALE, J. R. B.; ADAMI, M. Dinâmica do uso e ocupação da terra das áreas desflorestadas no Estado do Pará. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO, SICINPE, 2018, São José dos Campos. **Livro de Resumos...** São José dos Campos: INPE, 2018. p. 57.

## RERÊNCIAS

AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, v. 209, n. 2–4, p. 169–188, 2007.

AGROLINK. **Soja - sapezal - mt - área plantada, colhida, quantidade produzida, rendimento médio, valor de produção ....** Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/regional/mt/sapezal/estatistica>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

ALENCAR, A. *et. al.* **O desenvolvimento que queremos: ordenamento territorial da BR-163, Baixo Amazonas, Transamazônica e Xingu.** Meeting report. 29-31 mar., (IPAM, ISA, FVPP, Fetagri BAM, FORMAD, FVPP, CEFTBAM, Forum BR-163, GTA), Santarém, PA, 2004.

ALMEIDA, C. A. DE et al. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.

ALVES, D. S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p. 2903–2908, 2002.

ALVES, D. S. O processo de desflorestamento na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**, v. 12, p. 259-275, 2001.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C. C.; ROCHA, R. **Deforestation slowdown in the Legal Amazon: prices or policies?.** Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2012.

BARBIERI, A. L. **Análise de robustez em redes complexas.** 2010. 112 p. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

BECKER, B. K. **Amazônia.** São Paulo: Ática, 1998.

- Breiman, L. (2001). Random forests, *Machine Learning* 45(1): 5 - 32.
- LOPES, T. D. et al. Aplicação do algoritmo random forest como classificador de padrões de falhas em rolamentos de motores de indução. **Xiii simpósio brasileiro de automação inteligente**, Porto alegre , out. 2017.
- BOLFE, M. et al. Correlação de variáveis espectrais e estoque de carbono da biomassa aérea de sistemas agroflorestais. *Pesq. agropec. bras.*, v.47, n.9, p.1261-1269, 2012.
- CARRIJO, I. B. **Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjectivos e aprendizado de máquina**. 2004. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.
- COHEN, J. A. Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, v. 20, n. 01, p. 37-46, 1960.
- COUTINHO, A. C. *et al.* **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal: TerraClass 2008**. Brasília/DF: Embrapa; Belém: INPE, 2013.
- DANTAS, T. M.; FONTELES, L. V. **Avanço da fronteira agrícola na Amazônia**. 2005. Disponível em: <<http://www.oktiva.net/sispub/anexo/9168>>. Acesso em 15 abr. 2018.
- DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, v.15, n. 02, p. 01-22. 2012.
- GOOGLE EARTH ENGINE. **Google earth engine**. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/>>. Acesso em: 03 jul. 2018.
- DUBOIS, J. C. L. Manual Agroflorestal para a Amazônia – Vol 1. Rio de Janeiro: REBRAF, 1996. 228p.
- FEARNSIDE, P. M. Avança Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. **Environmental Management**, v. 30, n. 06, p.748-763, 2002.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 113-123, 2005.
- FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento recente nos estados da Amazônia

Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais.

**Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 01, p. 93-108, 2015.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: Processos Ecológicos em Agricultura Sustentável**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000.

HECHT, S. B. Environment, development and politics: capital accumulation and the livestock sector in Eastern Amazonia. **World Development**, v. 13, n. 06, p. 663-684. 1985.

HECHT, S. B. Environment, development and politics: capital accumulation and the livestock sector in Eastern Amazonia. **World Development**, v. 13, n. 06, p. 663-684. 1985.

HOMMA, A. K. O. A imigração Japonesa na Amazônia: sua contribuição ao desenvolvimento agrícola. Embrapa Informação Tecnológica; Brasília: Embrapa, 2016. 255 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Good practice guidance for land use, land-use change forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/233M9>>. Acesso em: 25 Jun. 2019.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP). Estatística municipal de Tomé-Açu - PA, 2014. Disponível em: <<fapespa2.pa.gov.br/pdf/estatisticaMunicipal/pdf/TomeAcu.pdf>> Acesso em: 25 Jun. 2019.

KAZMIERCZAK M. L. Desenvolvimento de um algoritmo para Modelar a Susceptibilidade de Desertificação no Nordeste do Brasil: Algoritmo Isd[Neb]. **Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 133-143.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, n. 1, p. 205–241, 2003.

LAMBIN, E. F.; LINDERMAN, M. Time series of remote sensing data for land change science. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, n. 7, p. 1926–1928, 2006.

MACHADO, L. O. A fronteira agrícola na Amazônia. In: BECKER, B. K. *et al.* (Orgs.). **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo: Hucitec, 1998, p.181-217.

MERTENS, B. *et al.* Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of São Félix do Xingu in South Pará. **Agricultural Economics**, v. 27, n. 03, p. 269-294. 2002.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. DA; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature* v. 403, p. 853-858. 2000.

NEPSTAD, D. *et al.* Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 154, n. 03, p. 395-407, 2001.

OLIVEIRA, R. R. S. *et al.* Análise da vulnerabilidade natural dos solos à erosão como subsídio ao planejamento territorial em área da microbacia do igarapé Peripindeua, Nordeste Paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XV, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 4783-4790.

OLIVEIRA, T. C. de. Caracterização, Índices Técnicos, e Indicadores de Viabilidade Financeira de Consórcios Agrolofrestais. 2009, 84 f. Dissertação (Mestrado do curso de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, 2009.

ROMERO-RUIZ, M. H.; FLANTUA, S. G. A.; TANSEY, K.; BERRIO, J. C. Landscape transformation in savannas of northern south America: Land use/cover changes since 1987 in the Lianos Orientales of Colombia. *Applied Geography*, v.32, n.2, p. 766-776, 2012.

SANTOS, S. R. M. Interação e ponto de equilíbrio na assimilação de carbono em

Sistemas Agroflorestais na Amazônia Oriental. 2016. 85 f. Tese (Doutorado do curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias/ Ecossistemas da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2016.

SILVA, M. et al. A transformação do espaço amazônico e seus reflexos na condição atual da cobertura e uso da terra. **Novos Cadernos NAEA**, v. 16, p. 229–248, 2013.

SMITH, N. J. H. *et al.* **Amazonia**: resiliency and dynamism of the land and its people. Tokyo: United Nations University Press, 1995.

Skidmore, A.; Turner, B. Assessing the accuracy of resource inventory maps. Proceedings for Global Natural Resource Monitoring and Assessments: Preparing for the 21th Century. Venice, v.2, p.524-535, 1989.

Story, M.; Congalton, R. G. Accuracy assessment: A user's perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.61, p.391-401, 1986.

SOUSA, L. M.; ADAMI, M.; LIMA, A. M. M.; RAMOS, W. F. Avaliação do uso e cobertura da terra em Paragominas e Ulianópolis-PA, utilizando dados do projeto TerraClass. Revista Brasileira de Cartografia v. 69, n. 3, p. 421-431, 2017.