

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FRANCISCO ALVES DA SILVA

ANÁLISE TEMPORAL DA VARIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL PELA
AÇÃO DO FOGO NO MUNICÍPIO DE LÁBREA (AM).

ITACOATIARA

2017

FRANCISCO ALVES DA SILVA

ANÁLISE TEMPORAL DA VARIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL PELA
AÇÃO DO FOGO NO MUNICÍPIO DE LÁBREA (AM).

Monografia apresentado ao curso de
Graduação em Engenharia Florestal do
Centro de Estudos Superiores de
Itacoatiara, como requisito para obtenção
de título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Dr. Luís Antônio de Araújo
Pinto.

Co-orientador: Dr. Vagner Alex Pesck.

ITACOATIRA

2017

S586a

Silva, Francisco Alves da

Análise temporal da variação da cobertura vegetal pela ação do fogo no município de Lábrea (AM) / Francisco Alves da Silva. Manaus : [s.n], 2017.

72 f.: color.; 29 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Florestal - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2017. Inclui bibliografia

Orientador: Pinto, Luís Antônio de Araújo

Coorientador: Pesck, Vagner Alex

1. Sensoriamento remoto. 2. Índices de vegetação. 3. Queimadas. 4. Focos de calor. I. Pinto, Luís Antônio de Araújo (Orient.). II. Pesck, Vagner Alex (Coorient.). III. Universidade do Estado do Amazonas. IV. Análise temporal da variação da cobertura vegetal pela ação do fogo no município de Lábrea (AM)

FRANCISCO ALVES DA SILVA

**ANÁLISE TEMPORAL DA VARIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL PELA AÇÃO
DO FOGO NO MUNICÍPIO DE LÁBREA (AM)**

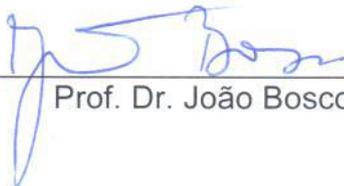
Monografia, apresentada ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal.

Itacoatiara, 12 de dezembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luis Antônio de Araújo Pinto - UEA
(Orientador)



Prof. Dr. João Bosco Soares - UEA



Prof. Dr. Eduardo de Souza Mafra - UEA

Dedico está conquista ao senhor meu Deus. A minha mãe Raimunda Alves, meu pai Raimundo Roberto e a minha irmã Patrícia Alves e meu falecido avô Raimundo Santos, que sempre me incentivaram a estudar e que me apoiaram em tudo o que eu precisava nessa jornada, o restante dos meus familiares e amigos que de forma direta ou indireta me ajudaram durante esta fase acadêmica da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Ao meu pai, Raimundo Roberto Rodrigues da Silva, a minha mãe, Raimunda Alves Marciel, e a minha irmã Patrícia Alves da Silva que sempre estiveram ao meu lado, ajudando-me, apoiando-me, incentivando-me, aconselhando-me e não deixando que me faltasse nada ao longo desta jornada acadêmica.

A minha avó paterna, Tereza do Vale e o meu falecido avô, Raimundo Santos por todo o ensinamento na minha infância e adolescência.

A minha avó materna, Cleonice Alves e o meu avô, Gabriel Albuquerque por toda confiança.

Aos meus familiares de Lábrea e Manaus (tios e tias, primos e primas), que me deram suporte durante todo esse tempo de estudo.

Aos meus amigos Tafnes Freitas e Anderson Menezes, por me acolherem em sua casa durante minhas idas para Manaus ao longo deste período.

Aos meus amigos de Lábrea, Flávia Galvão, Idalina Oliveira, Jaine Marques, Di Estephano Silva, Talles Wendell pela longa amizade e companheirismo.

A Universidade do Estado do Amazonas pela oportunidade e pelo auxílio nesta caminhada. Ao corpo de professores do curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara que contribuíram para a minha formação acadêmica ao longo desses anos.

Ao meu Orientador e amigo, Luís Antônio de Araújo Pinto, pela orientação, pelo apoio de todas as formas, pela confiança e por todo o conhecimento generosamente compartilhado ao longo do curso.

Ao meu Co-orientador, Dr. Vagner Alex Pesck da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – Campus Irati, pela orientação, apoio e confiança durante a fase de desenvolvimento do trabalho.

Ao pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Dr. Moacir Campos, por todas sugestões para a feitura deste trabalho.

Ao Engenheiro Florestal e Mestrando do INPA, Mateus Reis por toda ajuda e dicas durante o desenvolvimento do trabalho que foram de grande importância.

Aos meus colegas e amigos de curso, Lennon Azevedo, João Serafim, Raildo Torquato, Gustavo Simão, Jefersson Nascimento, Anderson Reis, Luana Baraúna, Laís

Mineiro e Adrienne Amaral pela ajuda, amizade, pelo apoio constante, disponibilidade, sugestões e dicas compartilhadas durante o desenvolvimento do trabalho e ao saudoso amigo e companheiro Cleiton de Oliveira Simão (*in memoriam*).

Aos amigos que conquistei durante esse período de minha vida na Universidade e na cidade de Itacoatiara, pela ajuda, amizade, apoio, pelo repartir do pão nas horas de dificuldade, pelo ombro amigo na hora da angústia, pelas palavras de conselho em meio as tribulações, pela convivência e principalmente pelos bons momentos que compartilhamos durante esses 5 anos de academia.

A todos que de maneira direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e pelo apoio nesses anos de luta.

“Senhor, dai-me força para mudar o que pode ser mudado...Resignação para aceitar o que não pode ser mudado...E sabedoria para distinguir uma coisa da outra.”.

São Francisco de Assis

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo analisar e quantificar as áreas de ocorrência de fogo e as consequências de sua ação sobre a vegetação, na área de abrangência do município de Lábrea, na região do sul do Estado do Amazonas. Foram utilizadas cenas do sensor *Operational Land Imager* (OLI) abordo do satélite Landsat 8, dos meses de agosto e setembro de 2014 e 2015, que passaram por tratamento por meio de técnicas de sensoriamento remoto, divididas em duas etapas: (1) pré-processamento (calibração radiométrica, correção atmosférica, conversão de valores de reflectância e remoção de ruídos); (2) pós-processamento (geração de índices de vegetação: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI, Índice de Queimada Normalizada – NBR, composição de imagens, interpretação, mapeamento, quantificação e comportamento espectral da vegetação). Também foram utilizados dados de focos de calor do programa de monitoramento de queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os resultados demonstraram o elevado aumento de focos de calor no ano de 2015, em relação ao ano 2014. A localização com maior concentração de focos foi no Projeto de Assentamento Monte. O emprego dos índices de vegetação NDVI e NBR mostraram o potencial na identificação e mapeamento de áreas queimadas. A comparação dos focos de calor com áreas de efetiva queimadas demonstraram a imprecisão da localização dos sensores de monitoramento de queimadas. A estimativa total das áreas queimadas em duas diferentes áreas (Área 1 e 2) do município foram 1.174,37 ha em agosto e 12.761,26 ha em setembro em 2014 e 22.403,86 ha em agosto e 23.320,71 ha em setembro em 2015. Por meio do comportamento espectral da vegetação, notou-se que a alteração da reflectância da superfície após uma queimada, refletindo maior quantidade de energia nas faixas do vermelho e azul. Com os resultados constatou-se que a maior quantidade de focos de calor e áreas queimadas estão em áreas de projetos de assentamento, e que o índice de vegetação NBR tem maior potencial para distinguir áreas queimadas de outros tipos de vegetação, a resposta espectral da superfície se altera com eventos de queimada nos quais a faixa do vermelho apresentou maior sensibilidade.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, Índices de Vegetação, Queimadas, Focos de Calor.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze and quantify the areas of fire occurrence and the consequences of its action on vegetation in the area of coverage of the municipality Lábrea, in the southern region of the State of Amazon. Scenes of the sensor were used Operational Land Imager (OLI) aboard the satellite Landsat 8, from the months of August and September, 2014 and 2015, which have undergone treatment by means of remote sensing techniques divided in two Steps: (1) Preprocessing (Radiometric Calibration, atmospheric correction, conversion of values of reflectance and noise removal; 2) Post-processing (generation of vegetation indexes, Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, Normalized Burn Index – NBR, image composition, interpretation, mapping, quantification and spectral behavior of vegetation). There were also used data of heat-outbreaks from the forest burning program of the National Institute for Spatial Research (INPE). The results show the high rise of heat outbreaks in the year 2015, in relation to the year 2014. A location with a greater concentration of heat-outbreaks was the *Assentamento Monte* Project. The application of the indices of vegetation NDVI and NBR shows the potential of the identification and mapping of burnt areas. The comparison of heat outbreaks with effective burnt-out areas showed the inaccuracy of the location of the forest fire monitoring sensors. The total estimate of burnt areas in two different areas (area 1 and 2) of the municipality was 1,174.37 ha in August and 12,761.26 ha in September of 2014 and 22,403.86 ha in August and 23,320.71 ha in September of 2015. By means of the spectral behavior of vegetation, it may be noted that the reflectance from the surface after a burn, reflected a greater amount of energy in the bands of red and blue. Confronted with the results found that greater quantity of heat outbreaks and burnt areas are in settling projects areas and that the NBR vegetation index has greater potential to distinguish burnt areas of other types of vegetation, the spectral response of the surface is altered with the burning events in which the red band presented greater sensitivity.

Keywords: Remote Sensing, Vegetation Indexes, Burning, Heat Outbreaks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de localização do município de Lábrea.....	25
Figura 2. Fluxograma da metodologia. UF = Unidades Federais.....	29
Figura 3. Fluxograma dos procedimentos de tratamento das imagens.....	28
Figura 4. Quantidade de Focos de Calor em diferentes datas no município de Lábrea (Dados de todos os sensores de monitoramento de queimadas).....	33
Figura 5. Mapa de distribuição de focos de calor em 2014.....	35
Figura 6. Mapa de distribuição de focos de calor em 2015.....	35
Figura 7. Mapa de Unidades Federais no território de Lábrea.....	37
Figura 8. Distribuição dos focos ativos e focos observados em agosto de 2014.....	41
Figura 9. Distribuição dos focos ativos e focos observados em setembro de 2014.....	41
Figura 10. Distribuição dos focos ativos e focos observados em agosto de 2015.....	42
Figura 11. Distribuição dos focos ativos e focos observados em setembro de 2015.....	42
Figura 12. Distribuição dos focos ativos e focos observados em agosto de 2014.....	44
Figura 13. Distribuição dos focos ativos e focos observados em setembro de 2014.....	44
Figura 14. Distribuição dos focos ativos e focos observados em agosto de 2015.....	45
Figura 15. Distribuição dos focos ativos e focos observados em setembro de 2015.....	45
Figura 16. Índice de vegetação NDVI e NBR em agosto de 2014 na área 1.....	48
Figura 17. Índice de vegetação NDVI e NBR em setembro de 2014 na área 1.....	48
Figura 18. Índice de vegetação NDVI e NBR em agosto de 2015 na área 1.....	49
Figura 19. Índice de vegetação NDVI e NBR em setembro de 2015 na área 1.....	49
Figura 20. Índice de vegetação NDVI e NBR em agosto de 2014 na área 2.....	50
Figura 21. Índice de vegetação NDVI e NBR em setembro de 2014 na área 2.....	51
Figura 22. Índice de vegetação NDVI e NBR em agosto de 2015 na área 2.....	52
Figura 23. Índice de vegetação NDVI e NBR em setembro de 2015 na área 2.....	52
Figura 24. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NDVI.....	55
Figura 25. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NBR.....	56
Figura 26. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NDVI.....	57

Figura 27. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NBR.	58
Figura 28. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NDVI.....	59
Figura 29. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NBR.	59
Figura 30. a) Área 2 de agosto de 2014; b) Área 2 de agosto de 2015 (Linha em vermelho corresponde ao Transecto com 8 km).....	62
Figura 31. Assinatura espectral da vegetação do transecto, correspondendo faixa do espectro da banda 4 (vermelho), banda 3(verde) e banda 2 (azul) em agosto de 2014.	63
Figura 32. Assinatura espectral da vegetação do transecto, correspondendo faixa do espectro da banda 4 (vermelho), banda 3(verde) e banda 2 (azul) em agosto de 2015.	64

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Satélites utilizado pelo INPE na detecção de focos de calor.	20
Tabela 2. Bandas espectrais do sensor OLI.	27
Tabela 3. Datas das aquisições das cenas.	27
Tabela 4. Datas de aquisições dos Dados de Focos de calor.	28

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1. Chave de identificação de áreas queimadas.	31
Quadro 2. Quantidade de Focos de calor nas Unidades Federais.....	38
Quadro 3. Diferença de focos ativos e focos observados na Área 1.	40
Quadro 4. Diferença de focos ativos e focos observados na Área 2	43
Quadro 5. Estimativa das áreas queimadas (Área 1 e 2) do município de Lábrea em diferentes datas. IC= Incremento.....	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1	CONCEITOS BÁSICOS	17
3.2	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO	18
3.3	SENSORIAMENTO REMOTO.....	18
3.4	MONITORAMENTO	19
3.5	LANDSAT	21
3.6	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	25
4.2	AQUISIÇÃO DE DADOS	26
4.3	PRÉ-PROCESSAMENTO	29
4.4	PÓS-PROCESSAMENTO	30
4.5	QUANTIFICAÇÃO DA ÁREA	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1	QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO DOS FOCOS DE CALOR.....	33
5.2	ANÁLISE DA DETECÇÃO DE FOCOS NAS ÁREAS FEDERAIS	36
5.3	ANÁLISE DA DETECÇÃO DOS FOCOS EM RELAÇÃO AS CICATRIZES MAPEADAS.	40
5.4	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	47
5.5	MAPEAMENTO DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS	53
5.6	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO.....	61
6	CONCLUSÃO.....	65
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	67

1 INTRODUÇÃO

O fogo é um processo químico que libera energia em forma de calor, por meio da combustão de matéria orgânica (CARVALHO, 2017). Ao longo do desenvolvimento da humanidade, o fogo se tornou peça fundamental e rotineiro para a sobrevivência do Homem, trazendo proteção, iluminação e cozimento de alimentos. O autor afirma que o primeiro contato dos habitantes primitivos com o fogo, ocorreu por meio de fenômenos naturais, como os raios que ocasionaram grandes incêndios florestais (TOLEDO, 2011).

Na região Amazônica, a utilização de fogo para a abertura de áreas para agricultura e pecuária é comum, pois o fogo é uma prática simples e de baixo custo, onde as áreas ficam livres de árvores e arbustos. A aplicação do fogo possui um histórico comum em locais remotos da Amazônia, ocasionando a conversão de florestas em grandes áreas de pastagem e cultivo, promovendo o desenvolvimento, no entanto há uma grande perda de biodiversidade e erosão do solo, além de causar mudanças climáticas com a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, prejudicando o meio ambiente (COCHRANE, 2000; VASCONCELOS, 2012; VINAGRE, 2013; SOUZA e ALVES, 2017).

O processo de queima da vegetação altera a superfície atingida, acuminando em cicatrizes capazes de serem identificadas através de imagens de satélite, com isso pode-se estimar áreas afetadas pelo fogo, com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Dados obtidos por sensores orbitais podem mostrar a mudança da vegetação com alterações temporais das imagens, antes e depois da ação das queimadas, realizando uma análise visual comparativa e emprego de índices de vegetação sendo capaz de observar a diminuição da clorofila, alterando a reflectância da radiação na superfície (ROSAN e ALCÂNTARA, 2015).

O monitoramento da ação do fogo na região Amazônia assume significativa importância devido as mudanças ambientais que vêm causando ao longo das últimas décadas transformação da vegetação e do clima, apresentando períodos de estiagem mais prologados. A emissão de gases e fumaça (combustão da matéria orgânica que contribuem para o efeito estufa) movidas por queimadas e incêndios florestais, influenciam no bem-estar e na saúde da população, urbana e rural (SOUZA, 2008).

O acompanhamento das áreas remotas e com difícil acesso, podem ser auxiliadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, devido baixo custo de aquisições de cenas

e rápido acesso as informações podendo ser acompanhada em questão minutos, assim como ocorre em boletim do tempo. Podendo assim ser empregadas na prevenção e controle incêndios florestais, do mesmo modo no planejamento e nas medidas de mitigação das queimadas, a serem utilizadas por órgãos fiscalizadores do governo.

Diversos autores destacaram a necessidade de entender a dinâmica e a consequência do fogo na vegetação: “A detecção de cicatrizes de queimadas e severidade do fogo são informações importantes que auxiliam na compreensão de como os eventos de queimadas afetam o ecossistema” (ROSAN e ALCÂNTARA, 2015). “[...] o monitoramento orbital das queimadas tem aplicações e resultados práticos satisfatórios no contexto de dimensão da área e da falta de outras opções de monitoramento” (PEREIRA, 2009). “A análise espectral mostrou que é possível distinguir feições da paisagem alteradas pelo fogo dos outros alvos terrestres” (MARQUES, 2009).

O sensoriamento remoto tem se mostrado uma importante ferramenta para a obtenção de informações de diferentes áreas, assim como a expansão antrópica e o comportamento ao longo dos anos, principalmente no Bioma Amazônico que vem sofrendo por uma crucial fase de degradação, na qual destaca-se região do sul da Amazônia próximo a grandes rodovias (Arco do Desmatamento). Portanto, é possível utilizar as imagens de satélites para realizar de forma preventiva a detecção de possíveis incêndios, minimizando futuros focos de queimadas, sendo capaz de constatar a existência de áreas mais vulneráveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar e quantificar as áreas de ocorrência de fogo e as consequências de sua ação sobre a vegetação, na área de abrangência do município de Lábrea, região do sul do Estado do Amazonas.

2.2 Objetivo Específico

- Analisar o comportamento da vegetação por meio dos índices de vegetação NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e NBR (Índice de Queimada Normalizada);
- Mapear os pontos de ocorrência de fogo na área de abrangência do município de Lábrea;
- Determinar o tamanho das áreas de ocorrência de fogo, mapeadas na área de abrangência do município de Lábrea;
- Avaliar a variação temporal do comportamento espectral da vegetação.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONCEITOS BÁSICOS

O fogo conceitualmente é “uma reação de oxidação irreversível e exotérmica processada através de radicais livres” (TOLEDO, 2011). A combinação de calor, ar e combustível forma o triângulo do fogo. Para que haja a queima, é necessário o material combustível de qualquer substância capaz de oxidar-se, o calor que iniciar e continuar o processo de queima e oxigênio para manter as chamas acesas (SOUZA, 2008; TOLEDO, 2011; IFRS, 2015). É interessante estabelecer dois conceitos básicos, que muitas vezes geram confusão: incêndio florestal e queimada controlada.

Incêndio florestal é ação do fogo sem qualquer controle que afeta qualquer tipo de vegetação, sendo promovida por ação do homem (intencional ou negligência), ou por causas naturais (raios). Já as queimadas controladas, é uma prática na qual que se tem o controle do fogo, utilizada na prática agrícola ou florestal, portanto, o fogo é manejado de modo que o seu uso gere benefícios (ICMBio, 2010).

Alguns termos usados na ecologia do fogo, importantes para o entendimento do processo, são apresentados por Lombardi (2003):

1. Queimada – refere-se ao processo de combustão de fitomassa e/ou subprodutos desta combustão;
2. Área queimada – refere-se à extensão da superfície afetada por queimadas identificáveis por sensores remotos;
3. Cicatrizes do fogo – refere-se ao comportamento espectral das áreas queimadas após o fogo ter consumido, total ou parcialmente, o material combustível;
4. Focos ativos – é um termo utilizado para designar o fogo ardendo no momento da passagem do satélite; e,
5. Focos de calor – refere-se às áreas com temperaturas que sensibilizam o sensor termal a bordo do satélite no momento de sua passagem, pode ou não corresponder a uma queimada ou incêndio florestal.

3.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO

Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um conjunto de ferramenta integradas entre si, programas, equipamentos, metodologias, dados e usuário (FILHO e IOCHPE, 1996), que é capaz de manipular, sintetizar, pesquisar, editar e visualizar informações geográficas (FERREIRA, 2006). O SIG pode, ainda, ser definido como um sistema provido de quadro grupos de aptidões para manusear dados georreferenciados: 1) Entrada, 2) Gerenciamento, 3) Manipulação, e 4) Análise e saída (CÂMARA e ORTIZ, 1997).

A utilização do SIG disseminou-se pelo mundo por possibilitar um melhor gerenciamento de informações, de forma simples e agir, conseqüentemente melhorando a planejamento em diversas áreas (FILHO e IOCHPE, 1996), assim, justificar o interesse pela área do sistema de informações geográfica, como instrumento de modelação de problemas, análise e simulação de cenários (CAVALCANTE e SILVA, 2015).

A aplicação do SIG possibilitou a melhor visualização de problemas urbanos, rurais e ambientais, facilitando a tomada de decisão, auxiliando o profissional, e atuando com ferramenta eficaz, propiciando diminuição de custo e tempo (PADILHA, 2008).

3.3 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2011). Pode ser também conceituada como a técnica que utiliza sensores para a captação e registro à distância, sem o contato direto, da energia refletida ou absorvida pela superfície terrestre (FITZ, 2008).

Destacam-se os processos intrínsecos na interação entre a radiação eletromagnética, considerada a peça fundamental das técnicas de sensoriamento, entre os diferentes objetos que se deseja extrair informações (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). A radiação eletromagnética é a propagação de energia, por meio de variação temporal dos campos elétricos e magnéticos, e funciona como um termômetro-messageiro do sensoriamento remoto, pois, não apenas capta as informações pertinentes

às principais características das feições terrestres, como também as leva até os satélites (FIGUEIREDO, 2005).

A faixa de comprimentos de onda e de frequência da radiação eletromagnética é chamada de espectro eletromagnético, se estende dos raios cósmicos aos comprimentos de correntes alternadas emitidos pelas redes de alta tensão. Espectro eletromagnético foi dividido em intervalos de ondas com base nos mecanismos físicos e a nomenclatura de cada um dos intervalos se deu em função do uso e aplicação (MENEZES e ALMEIDA, 2012; FIGUEIREDO, 2005).

A faixa visível do espectro eletromagnético é o intervalo de onda mais familiar por ser aquela que o olho humano é capaz de detectar, a luz visível corresponde a faixa entre 0,4 μm a 0,7 μm (MENESES e ALMEIDA, 2012). Outras faixas importantes no sensoriamento remoto dos infravermelhos próximo e médio entre 1 μm a 2,5 μm , e infravermelho termal entre 2,5 μm a 13 μm (FIGUEIREDO, 2005).

O sensoriamento remoto se destaca por fornecer grande parte dos dados para o estudo dos fenômenos espaciais (FITZ, 2008). Grande parte dos estudos são voltados para usos de recursos naturais e principalmente sobre o meio ambiente, dentre eles destacam-se os estudos de modificações climáticas, acompanhamento de emissão e ação de poluentes, agricultura, desmatamento e queimadas (ROSA, 2013).

O fogo causa alterações nas superfícies, já que modifica a vegetação e deposita cinzas por onde passa. Essas modificações mostram-se como queimadas ou cicatrizes na superfície, e são mais facilmente identificáveis por meio do sensoriamento remoto, pois apresenta uma diferenciação na radiação eletromagnética emitida (BRAGA, 2013). A análise temporal antes e depois do fogo mostram a diferença na resposta espectral das ondas, com a diminuição da vegetação.

Existem duas formas de detecção do fogo por meio de imagens de satélite. Primeiro detectar os focos de incêndios ativos a partir da mudança térmica da superfície, utilizando os canais espectrais do infravermelho médio e do termal. A segunda forma é por meio do mapeamento da área onde ocorreu o fogo, onde se forma carvão e cinzas no local, e a remoção da vegetação e alteração da sua estrutura, por meio de dados de reflectância e temperatura (SANTANA, 2016).

3.4 MONITORAMENTO

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem monitorando queimadas e incêndios florestais por imagens de satélites desde 1987. Já em 1994 fundou o Programa de Queimada, com objetivo em gerar o maior número possível de dados relacionados ao uso do fogo na vegetação para o governo e para a sociedade que se beneficiam com as informações geradas (INPE, 2017).

O INPE utiliza todos os satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4 μm . Desde fevereiro de 2017, são processadas operacionalmente, na Divisão de Satélite e Sistema Ambientais – DAS do instituto, as imagens AVHRR/3 dos satélites polares NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19 e METOP-B, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA, as VIIRS do NPP-Suomi, e as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-13 e MSG-3 (Tabela-1). Os satélites em órbita polar podem produzir no mínimo dois conjuntos de canais por dia, já os geoestacionários geram numerosas cenas por hora, sendo que no total o INPE processa mais de 200 cenas por dia especificadamente na detecção de focos de fogo na vegetação. Espera-se que se inicie recepção das imagens dos satélites chineses polares Fenyum e geoestacionário NOAA-GOES-16 (INPE, 2017).

Os satélites em órbitas polares se deslocam sentido norte-sul, diferente dos satélites geoestacionário que estão em órbita equatorial geoestacionária, mantêm sua posição constante com relação ao planeta. Outra diferença entre os dois tipos de órbita é a distância entre o sensor e a Terra, o satélite geoestacionário fica mais distante e o satélite polar está mais próximo (PEREIRA, 2009).

Tabela 1. Satélites utilizado pelo INPE na detecção de focos de calor.

ÓRBITA POLAR			
SATÉLITE	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPACIAL	REVISITA
NOAA	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	1,1 km	12 horas
AQUA	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	1 km	1 a 2 dias
TERRA	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	1 km	1 a 2 dias
NPP-SUOMI	VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)	1 km	16 dias
GEOESTACIONÁRIOS			
SATÉLITE	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPACIAL	REVISITA

GEOS	GOES I-M (Imager Radiometer e Vertical Sounder)	4 km	A cada 30 minutos
MSG-02	SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)	3 km	A cada 30 minutos

Fonte: INPE, 2017.

Após a detecção, os focos de calor são referenciados com sua posição em coordenadas geográficas (latitude e longitude) (JUSTINO e ANDRADE, 1998). Cada sensor tem característica diferentes na obtenção de dados. Os satélites em órbitas polares, podem observar áreas afetadas até cerca de 30 m de extensão por 1 m de largura. Para os geoestacionários, a 25 mil km de distância, a frente necessita ter o dobro do tamanho para ser localizado. Portanto, este sistema do INPE detecta a existência do fogo na vegetação, mas não tem condições de avaliar o tamanho da área e nem o tipo vegetação atingido (INPE, 2017).

A relação foco versus área afetada não é direta nas imagens de satélite. Um foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (píxel), que varia de 1 km x 1 km até 5 km x 4 km. Neste píxel pode haver uma ou várias queimadas distintas que a indicação será de um único foco. E se área afetada pelo fogo tiver grande extensão ela será detectada em alguns píxels vizinhos, então, vários focos estarão associados a uma única área atingida pelo fogo. É possível uma mesma área de ocorrência do fogo ser detectada por vários satélites. Logo, os mapas e tabelas disponibilizados pelo INPE, que apresentem todos os focos de todos os satélites sempre terão algumas repetições (INPE, 2017).

Atualmente os focos das instituições governamentais abrangem duas ações. A primeira foi o uso de monitoramento dos focos de calor como indicador de intensidade de uso ou conversão do solo. A segunda estratégia é a criação de modelos que indiquem o risco de incêndios florestais (MARQUES, 2009).

3.5 LANDSAT

Desde da década de 70 quando foi lançado em órbita o primeiro satélite da série Landsat, tendo como finalidade coletar informações sobre os recursos naturais do nosso

planeta. A partir desse momento ocorreu um grande avanço tecnológico, dando partida as novas missões e lançamento de satélites. Ao longo da história do sensoriamento remoto, a série de satélites Landsat foram os que mais produziram e fornecem imagens para todos os tipos de estudos e aplicações da Terra (FIGUEIREDO, 2005).

As aplicações dos satélites Landsat são bastante amplas sendo utilizados na avaliação das mudanças globais como por exemplo no monitoramento dos recursos florestais, suas principais aplicações estão na detecção de desmatamentos e queimadas, acompanhamento de uso do solo, monitoramento de áreas de preservação (GONTIJO et al., 2011).

Diversos ecossistemas vêm sofrendo impactos causados pelos incêndios florestais e queimadas. O uso de imagens da série Landsat 5, 7 e 8, acoplado com os sensores TM (*Thematic Mapper*), ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) e OLI (*Operational Land Imager*) tem sido empregado na compreensão destes eventos. A utilização de técnicas de sensoriamento remoto para o mapeamento e identificação de cicatrizes causada pela ação do fogo na vegetação tem se mostrado uma excelente ferramenta e tornado possível, tornado possível quantificar área afetada, quantidade de biomassa queimada e estima a emissão de gases (PESSOA et al., 2015).

A vegetação alterada pela ação do fogo pode ser verificada pelas respostas espectrais ao longo do tempo, assim como a comparação via visão das imagens antes e depois da ocorrência do fogo. Fernandes et al. (2016), interpretou as imagens do Landsat 8, na composição RGB (Bandas 6, 5 e 4) é observou áreas que apresentaram cores em tons mais escuros, diferenciando da vegetação e solo exposto, que representam pixels com características de áreas queimadas e conseqüentemente ocorre o aumento da reflectância devida queima de biomassa e deposição de cinzas no local.

É possível identificar nas imagens de satélite, cicatrizes de queimadas após dois meses desde a sua ocorrência, tornando viável a utilização de imagens com menos resolução temporal e maior resolução espacial, por exemplo imagens dos sensores TM e OLI. Portanto, é admissível a realização de mapeamento de áreas afetada pelo fogo em maiores escalas de detalhes, provendo informações com maior precisão na extensão das áreas afetadas (PESSOA et al., 2015).

3.6 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Na literatura existem vários índices de vegetação com o objetivo de explorar as propriedades espectrais de vegetação, especialmente utilizando a bandas da região do visível e do infravermelho próximo. Esses índices têm relação com os parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de reduzirem os efeitos da iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de reflectância da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Os índices de vegetação tentam expressar pelo processamento de imagens, o comportamento da vegetação, em diferentes estados de sucessão e diferentes distúrbios. São bastante utilizados para avaliação de diversas áreas, como no comportamento de uma espécie florestal ao estresse hídrico, a mudanças climáticas, secas e inundações, desmatamentos, queimadas e incêndios florestais.

O emprego dos índices de vegetação, evidenciam a eficiência na identificação de cicatrizes de queimadas, podendo, dessa forma ser utilizados com importante ferramenta para quantificação de áreas queimadas (FERNANDES et al., 2016).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) foi proposto por Rouse et al. (1973), e normalizaram a razão simples para o intervalo de -1 a+1 (TEOBALDO, 2013), com um fim produzir índice de vegetação com resposta espectral que separe a vegetação verde a partir do seu brilho do solo de fundo obtido por sensores (MONTEIRO, 2013).

O NDVI é uma normalização calculada por meio de razão entre a refletância do infravermelho próximo menos a refletância do infravermelho e a refletância do infravermelho próximo mais a refletância do infravermelho, (ROUSE et al., 1973). O índice é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

ρ_{IVP} = Refletância no Infravermelho Próximo

ρ_V = Refletância no Vermelho

Trata-se de um índice amplamente utilizado até os dias atuais, tendo sido explorado com diferença com diferentes abordagens em estudos climáticos e de culturas agrícolas e florestais (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

O Índice de Queimada Normalizada (*Normalized Burn Ratio* – NBR) com propósito de uma forma de mapear a gravidade de queimadura usando técnicas do sensoriamento remoto (KEY e BENSON, 2006).

O NBR é um método de determinação da escala de gravidade de uma queimada por meio da diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas (ALLEN e SORBEL, 2008). O resultado visual da imagem NBR indicar o melhor contraste entre a vegetação queimada e a vegetação sadia (CARDOZO et. al., 2011).

$$NBR = \left(\frac{\rho_{ivp} - \rho_{ivm}}{\rho_{ivp} + \rho_{ivm}} \right) \times 1000 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

NBR = Índice de Queimada Normalizada

ρ_{ivp} = Refletância do Infravermelho Próximo

ρ_{ivm} = Refletância do Infravermelho Médio

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Lábrea está localizado no sul do Estado do Amazonas, às margens do Rio Purus, a 610 km em linha reta da capital Manaus, com coordenadas geográficas 07°15'32" de latitude Sul e 64°47'52" de longitude a Oeste (Figura 1). A área territorial do município é 68.262,696 km², com uma população de aproximadamente de 44.071 habitantes (IBGE, 2017).

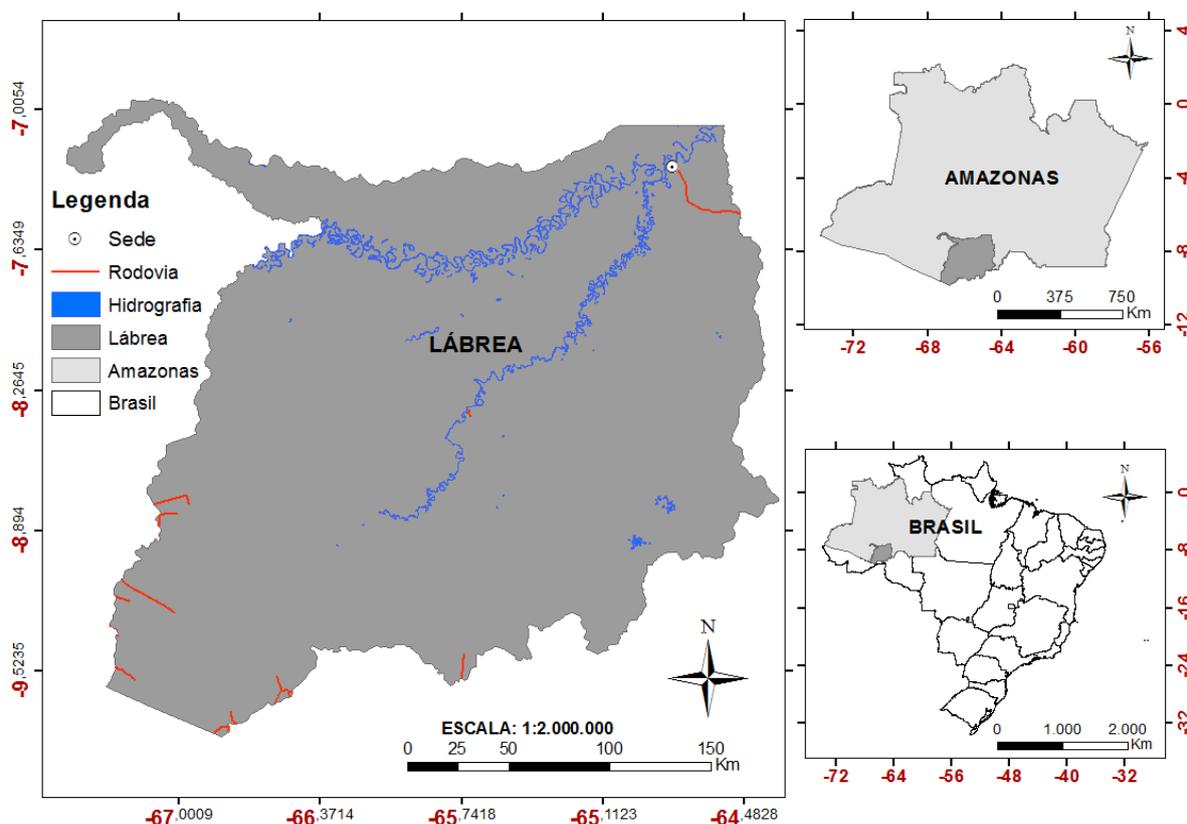


Figura 1. Mapa de localização do município de Lábrea.

O município de Lábrea faz divisa com os municípios de Boca do Acre, Pauini, Canutama e Tapauá e os Estados de Rondônia e Acre. O acesso por via terrestre a sede do município ocorre pela rodovia BR-230 (Transamazônica). Existe acesso ao extremo sul do município, onde se localiza a grande parte do desmatamento, por estradas secundárias e clandestinas que partem da rodovia BR-364, que liga as capitais de Porto Velho (RO) e Rio Branco (AC). Há no município 4 Unidade de Conservação Federais,

sendo elas: RESEx do Médio Purus, RESEx do Ituxi, FLONA do Iquiri e PARNA Mapinguari. O Instituto Nacional da Colonização e Reforma Agrária (INCRA), possui 4 projetos no município, sendo 3 Projetos de Assentamento (PA), PA Monte, PA Pacia e Umari; e 1 Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS), PDS Gedeão (CENAMO; CARRERO; SOARES, 2011).

A vegetação é formada por Floresta ombrófila densa, Floresta ombrófila aberta, Áreas de formações pioneiras, Área de tensão ecológica e Savana. Os tipos de solos encontrados são Plintossolo Háptico, Gleissolo Háptico, Espodossolo Ferrocárbico, Argilossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho- Amarelo (IBGE, 2005; IBGE, 2010).

Segundo Köppen e Geiger o clima dominante nesta área pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo de climático Am (chuvas de tipo monção). Precipitação pluviométrica de 2250 mm e 2750 mm, o período chuvoso geralmente inicia em outubro, atingido maiores índices nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril. As temperaturas médias anuais apresentam variações entre 24° C a 26° C. Umidade relativa e bastante elevada de 85 a 90% (BRASIL, 1978).

4.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

As imagens utilizadas neste trabalho provieram do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat-8, resolução espacial multiespectral de 30 metros e na pancromática 15 metros, com resolução temporal de aproximadamente 16 dias (Tabela 2). As cenas foram adquiridas, gratuitamente, no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Tabela 2. Bandas espectrais do sensor OLI.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
OLI	(B1) Costal	0,435 - 0,451 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B2) Azul	0,452 - 0,512 μm				
	(B3) Verde	0,533 - 0,590 μm				
	(B4) Vermelho	0,636 - 0,673 μm				
	(B5) Infravermelho próximo	0,851 - 0,879 μm				
	(B6) Infravermelho médio	1,566 - 1,651 μm				
	(B7) Infravermelho médio	2,107 - 2,294 μm				
	(B8) Pancromática	0,503 - 0,676 μm	15 m			
	(B9) Cirrus	1,363 - 1,384 μm	30 m			

Fonte: USGS, 2017.

As datas das cenas utilizadas neste trabalho ocorreram nos meses de agosto e setembro dos anos 2014 e 2015, período de estiagem na região, estas cenas correspondem a órbita/ponto 233/065 e 001/066. Para a escolha das datas das imagens foram consideradas as datas com maior incidência de focos de calor na região e a disponibilidade de imagens sem nuvens (PEREIRA, 2009).

Tabela 3. Datas das aquisições das cenas.

Sensor	Órbita/Path	Ponto/Row	Data	Data	Data	Data
OLI	233	065	21/08/2014	06/09/2014	24/08/2015	09/09/2015
OLI	001	066	12/08/2014	29/09/2014	31/08/2015	16/09/2015

Os dados de focos de calor, foram obtidos por meio do programa de monitoramento de queimadas e incêndios florestais do INPE (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/>), as datas de obtenção dos dados passaram por um filtro aonde foram extraídos apenas os focos de calor das datas do início de cada mês até o último dia da data de aquisição das cenas do sensor OLI, com isso as datas estão variando conforme a Tabela 4 abaixo:

Tabela 4. Datas de aquisições dos Dados de Focos de Calor.

	Data de Aquisição
Focos	01 a 21 de agosto de 2014
Focos	01 a 29 de setembro de 2014
Focos	01 a 31 de agosto de 2015
Focos	01 a 16 de setembro de 2015

Os dados de focos de calor foram analisados com a ferramenta de análise espacial de densidade *Kernel Density*. A ferramenta permitir avaliar a distribuição espacial dos dados, representando a intensidade dos focos por meio de mapas de pontos.

Para este estudo será delimitado duas áreas distintas, por meio do mapa de densidade e assim foram realizadas as avaliações e análises dos índices de vegetação.

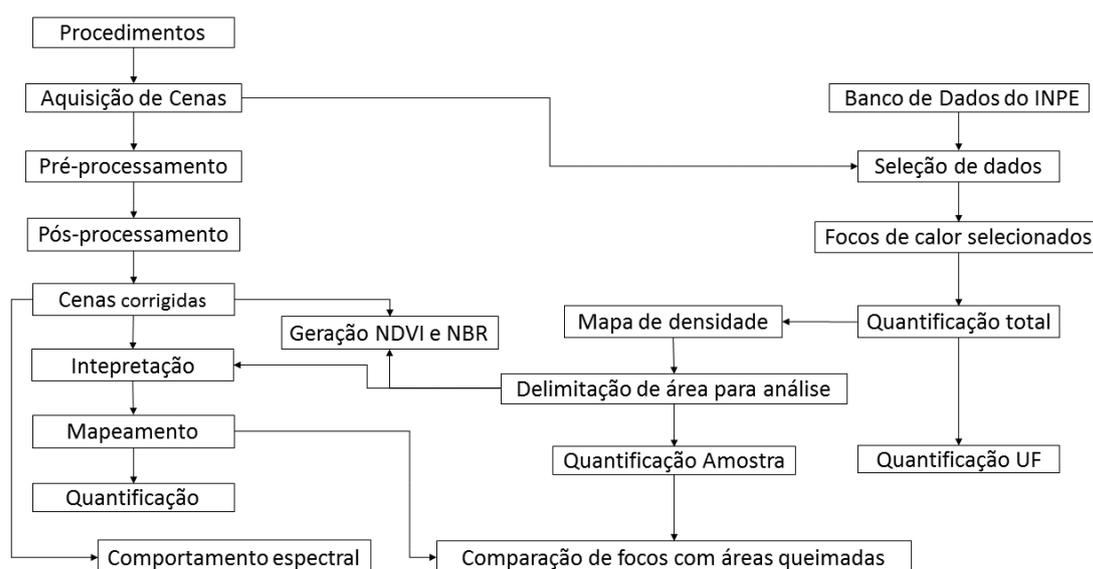


Figura 2. Fluxograma da metodologia. UF = Unidades Federais.

4.3 PRÉ-PROCESSAMENTO

Utilizou-se a ferramenta de calibração radiométrica (*Radiometric Calibration*) presente no software ENVI 5.2, para conversão dos números digitais (ND) para radiância no topo da atmosfera. Se fez necessária a presença dos arquivos de metadados (MTL) para realização da conversão, todas as bandas de ambas as cenas foram transformadas para radiância que é calculada usando a seguinte equação 3:

$$L_{\lambda} = \text{Ganho} * \text{ND do pixel} + \text{offset} \quad \text{Equação 3}$$

Em seguida, foi utilizada a ferramenta de correção atmosférica FLAASH (*Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) para correção dos efeitos de espalhamento e absorção atmosférica, e assim resultando em cenas com valores de reflectância no topo da atmosfera (ToA). O FLAASH incorpora o modelo de código de transferência de radiação MODTRAN4 (*Moderate Spectral Resolution Atmospheric Transmittance Algorithm-4*). Este algoritmo necessita da alimentação de alguns parâmetros contido no metadado para a realização da correção, tais como: coordenadas do centro da cena, altitude do sensor, elevação média do solo, data e horário de aquisição das cenas, tipo de modelo atmosfera e visibilidade inicial. O FLAASH altera os valores de reflectância, o motivo pelo qual necessita-se realizar a conversão dos valores para a obtenção de intervalos de 0 a 1 (EXELIS, 2017), utilizando a equação 4.

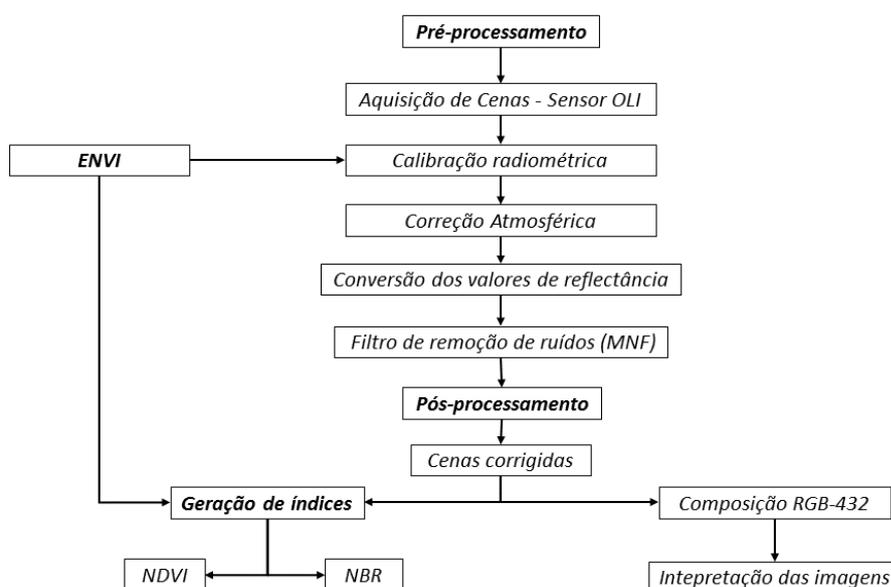


Figura 3. Fluxograma dos procedimentos de tratamento das imagens.

$$(B1 \leq 0) * 0 + (B1 \geq 10000) * 1 + (B1 > 0 \text{ and } B1 < 10000) * \text{float} \frac{B1}{1000} \quad \text{Equação 4}$$

Após a obtenção das cenas de reflectância no topo da atmosfera, as cenas passaram por um filtro para remoção de ruídos, decorrentes da presença de nuvens, fatores atmosféricos e fatores do próprio sensor, sendo utilizada a ferramenta *Minimum Noise Fraction* (MNF) (BRAGA, 2013).

4.4 PÓS-PROCESSAMENTO

Após os tratamentos das cenas, foram geradas imagens baseadas na composição de cores naturais RGB (Red-Green-Blue) das bandas 4 (0,636-0,673 μm – faixa espectral do vermelho), banda 3 (0,533-0,590 μm – faixa espectral do verde) e banda 2 (0,452-0,512 μm – faixa espectral do azul). Com os produtos dessas composições foram realizadas as análises pela interpretação e mapeamento das imagens, foi construída uma chave de identificação das áreas afetada pelo fogo, que consistiu na observação de padrões de cores, textura e de formas geométricas (Quadro 1), e assim foi feita a vetorização apenas das cicatrizes causadas pelo fogo na superfície.

Classe de Cobertura	Características	Exemplo – Composição RGB-432
Vegetal		
Floresta	Tons de cores verde escuro; textura rugosa; padrão geométrico irregular.	

Pastagem	Tons de rosa claro; textura lisa; padrão geométrico em retângulos.	
Cicatrices (Queimadas)	Tons de cores violeta; textura granulada; padrão geométrico em retângulos.	

Quadro 1. Chave de identificação de áreas queimadas.

Foram gerados os índices de vegetação, sendo: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), equação 1. Índices de Queimada Normalizada (NBR), equação 2.

Equação 1:

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

ρ_{IVP} = Refletância no Infravermelho Próximo

ρ_V = Refletância no Vermelho

Equação 2:

$$NBR = \left(\frac{\rho_{ivp} - \rho_{ivm}}{\rho_{ivp} + \rho_{ivm}} \right) \times 1000$$

ρ_{ivp} = Refletância do Infravermelho Próximo

ρ_{ivm} = Refletância do Infravermelho Médio

Para avaliação do comportamento da vegetação utilizou-se a ferramenta *Arbitrary Profile Transect* do ENVI 5.2, para a escolha de uma área para análise temporal da mudança da vegetação composta por floresta, pastagem e queimada.

4.5 QUANTIFICAÇÃO DA ÁREA

O Cálculo da área afetada pelo fogo ocorreu em duas áreas distintas, com maior concentração de focos de calor. Por meio da interpretação visual das imagens (Quadro 1) sobre área queimada foi delimitado e vetorizado o perímetro, em seguida foi calculada a área de cada imagem nos meses de agosto e setembro, nos anos 2014 e 2015. Segundo Bastarrika e Chuvieco (2006) as áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais são facilmente interpretadas nas imagens do satélite Landsat-5 TM pela sua textura e cor, principalmente quando as imagens são analisadas antes e após a ocorrência dos focos de calor, o que facilita a correção da classificação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO DOS FOCOS DE CALOR

Os números de focos de calor nas datas propostas pelo estudo foram de 879 focos no período de 01 a 21 de agosto de 2014 e 1303 focos no período de 01 a 29 de setembro de 2014. No ano seguinte, foram registrados 5985 focos do dia 01 a 08 de agosto de 2015 e 2557 focos do dia 01 a 16 de setembro de 2015. Destaca-se o aumento do número de focos no ano de 2015 em relação a 2014, neste mesmo ano (2015) o INPE registrou a maior quantidade de focos de calor no estado do Amazonas desde 1998 quando iniciou-se o monitoramento de queimadas e incêndios florestais no país.

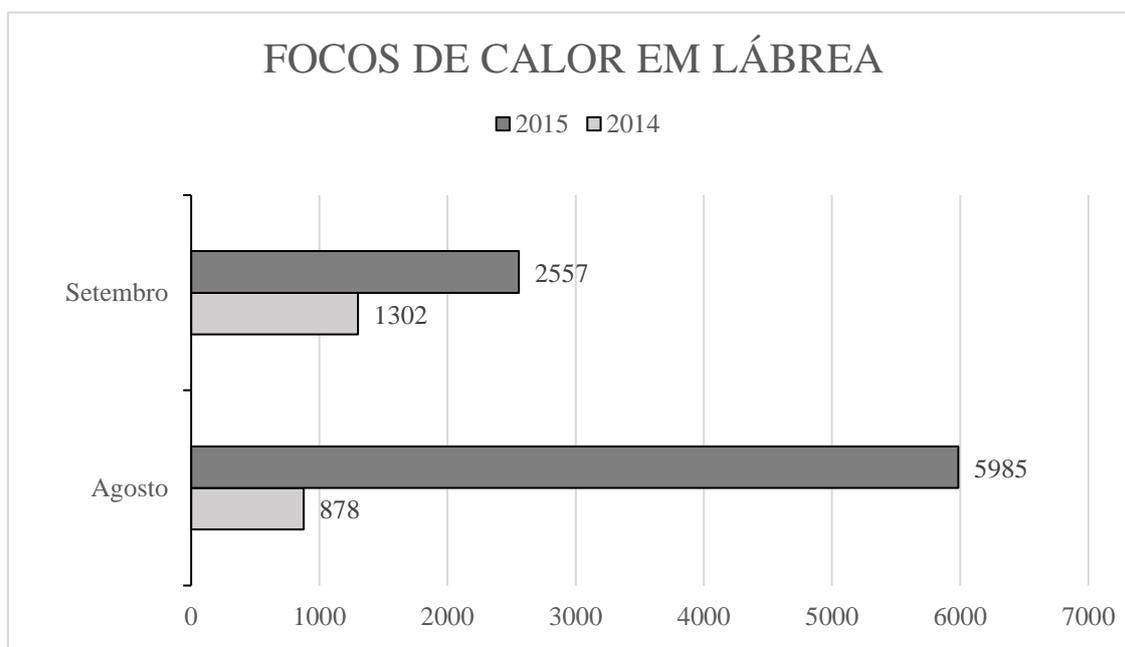


Figura 4. Quantidade de Focos de Calor em diferentes datas no município de Lábrea (Dados de todos os sensores de monitoramento de queimadas).

Os resultados obtidos na aplicação da ferramenta da análise espacial de *Kernel Density* possibilitaram a observação da distribuição espacial dos focos de calor nos meses de agosto e setembro de 2014 (Figura 5) e nos meses de agosto e setembro de 2015 (Figura 6).

Os mapas de densidade de pontos de focos de calor apresentaram um gradiente de cores e, essa variação representam a concentração/dispersão dos focos no espaço. Com

isso, as áreas na cor verde indicam que não existiu focos de calor, os tons de verde claro indicam áreas de moderada a baixa concentração de focos, conseqüentemente, menor incidência. Já a cor amarela indica áreas de média concentração de focos à média incidência. A cor laranja representa moderada alta na concentração nos focos e elevada incidência. A cor vermelha representa áreas de alta concentração de focos de calor, que correspondem as áreas de maior incidência de queimadas.

A pesquisa realizada no cerrado analisou a ocorrência de queimadas por meio da densidade espacial, que atestou a eficiência na representação das áreas queimadas de forma rápida e prática, e assim apresentando as áreas com maior intensidade de queimadas (MORAIS; SILVA; ROCHA, 2014). Em um estudo semelhante foi utilizado a ferramenta de densidade, onde foi possível identificar as áreas com maior fragilidade (CALDAS; SILVA; JUNIOR, 2014).

Por meio de mapa de densidade foi possível delimitar duas áreas distintas do município de Lábrea para a análise proposta neste trabalho, realizando a comparação dos focos de calor e quantificação das áreas queimadas e a geração dos índices NDVI e NBR. As áreas foram denominadas de Área 1 tendo cerca de 482.092,53 ha e Área 2 com cerca de 505.830 ha. A Área 1 abrange a sede do município, o trecho da rodovia BR-230 (Transamazônica), uma parte da área da unidade de conservação RESEx do Médio Purus e dois projetos de assentamento (PA PACIA e PA UMARI). A Área 2 compreende a região de divisão entre os municípios de Lábrea e Boca do Acre, contendo um projeto de assentamento (PA MONTE) e parte da unidade de conservação FLONA Iquiri (Figura 7).

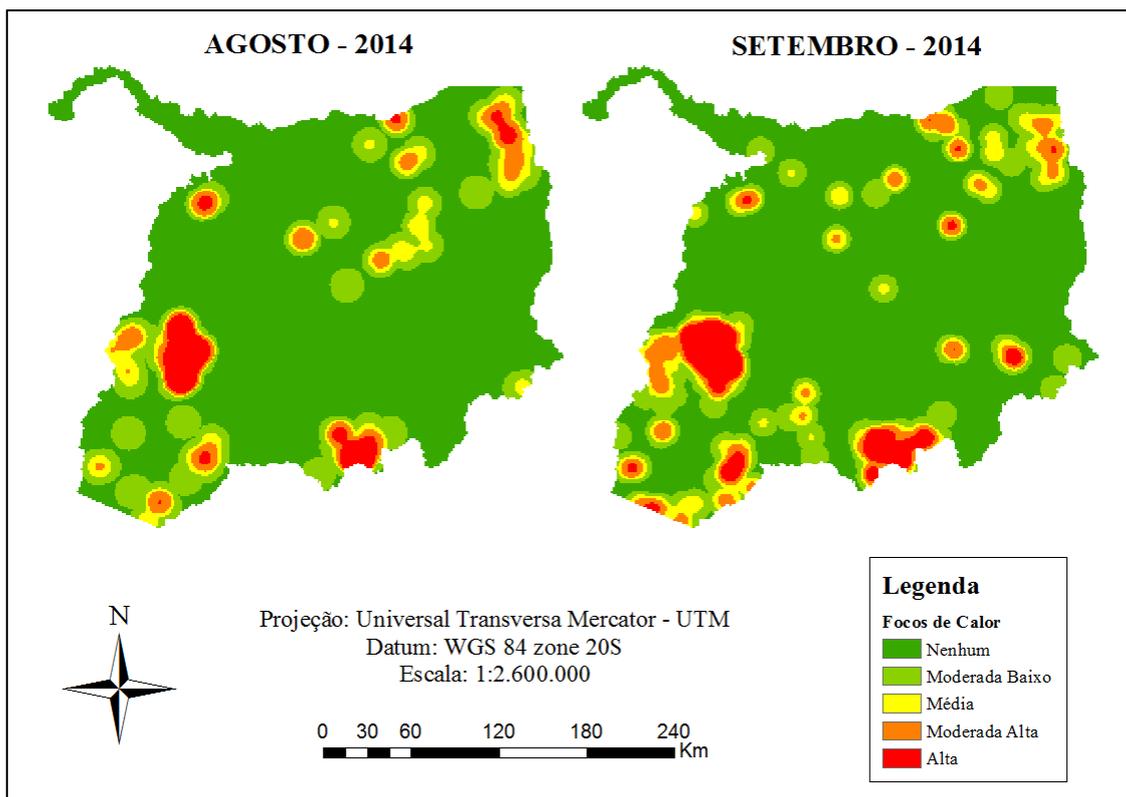


Figura 5. Mapa de distribuição de focos de calor em 2014.

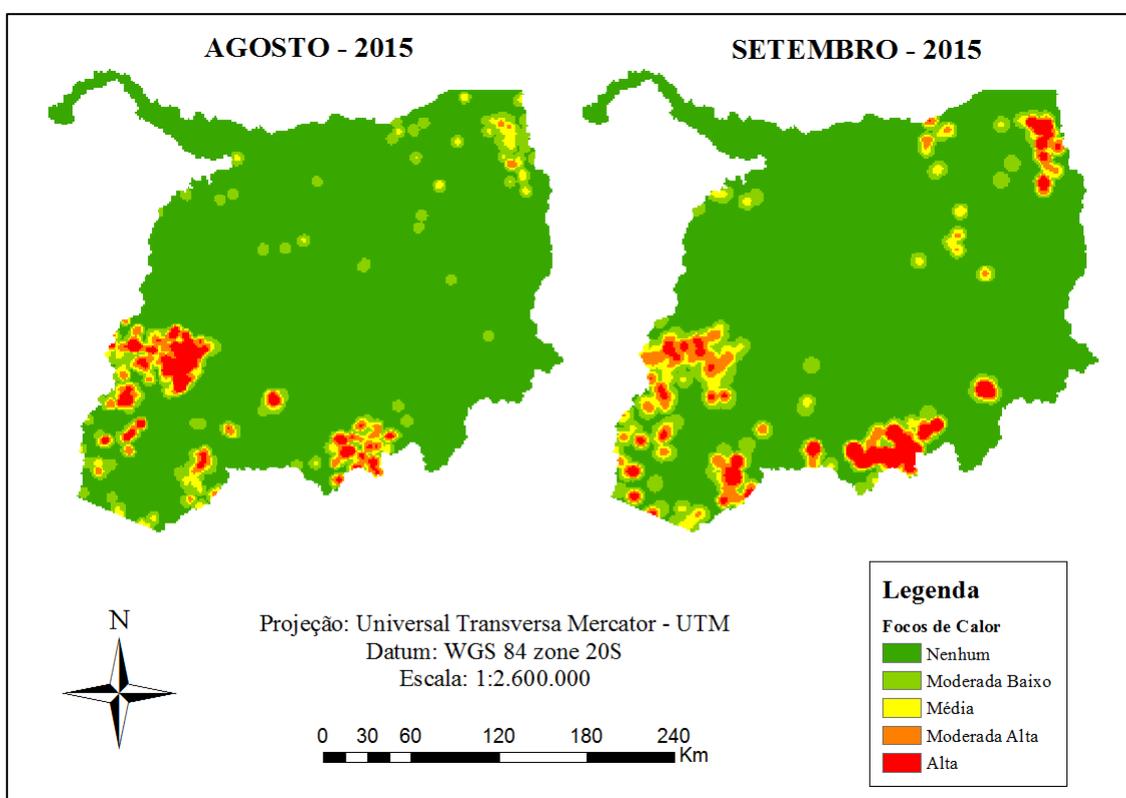


Figura 6. Mapa de distribuição de focos de calor em 2015.

5.2 ANÁLISE DA DETECÇÃO DE FOCOS NAS ÁREAS FEDERAIS

A partir dos dados de focos de calor, foi possível quantificar o número de focos ativos dentro das Unidade de Conservação (UC) e Projeto de Assentamento (PA) do Incra no município de Lábrea nos meses de agosto e setembro (2014 e 2015) (Quadro 2). Na área da UC de Proteção Integral – Parque Nacional Mapinguari foram registrados nos meses de agosto e setembro de 2014, respectivamente, 2 e 50 focos. No ano de 2015 foram registrados em agosto e setembro, respectivamente, 2 e 122 focos.

Nas áreas das unidades de conservação de uso sustentável FLONA Iquiri foram registrados nos meses de agosto e setembro de 2014, respectivamente, 7 e 13 focos. No ano de 2015 foram registrados 43 e 70 focos, respectivamente, agosto e setembro; Na RESEx Ituxi foram registrados nos meses de agosto e setembro de 2014, respectivamente, 11 e 4 focos. No ano de 2015 em agosto e setembro foram, 5 e 14 focos, respectivamente; e na RESEx do Médio Purus foram registrados nos meses de agosto e setembro de 2014, respectivamente, 2 e 9 focos. No ano de 2015 foram 11 e 11 focos, respectivamente, agosto e setembro.

Nas áreas de projeto de assentamento do INCRA, PA Monte foram registrados nos meses de agosto e setembro de 2014, respectivamente, 311 e 348 focos. No ano seguinte foram registrados 2.039 e 404 focos, respectivamente, agosto e setembro; PA Pacia foram registrados nos meses de agosto e setembro de 2014, respectivamente, 0 e 4. Já em 2015 foram registrados 3 e 3 focos, respectivamente, agosto e setembro; PA Umari foram registrados nos meses de agosto e setembro de 2014, respectivamente, 14 e 8 focos. Em 2015 foram registrados 31 e 30 focos, respectivamente, agosto e setembro; PDS Gedeão foram registrados nos meses de agosto e setembro de 2014, respectivamente, 2 e 23 focos. No ano de 2015 foram registrados 45 e 57 focos, respectivamente, agosto e setembro.

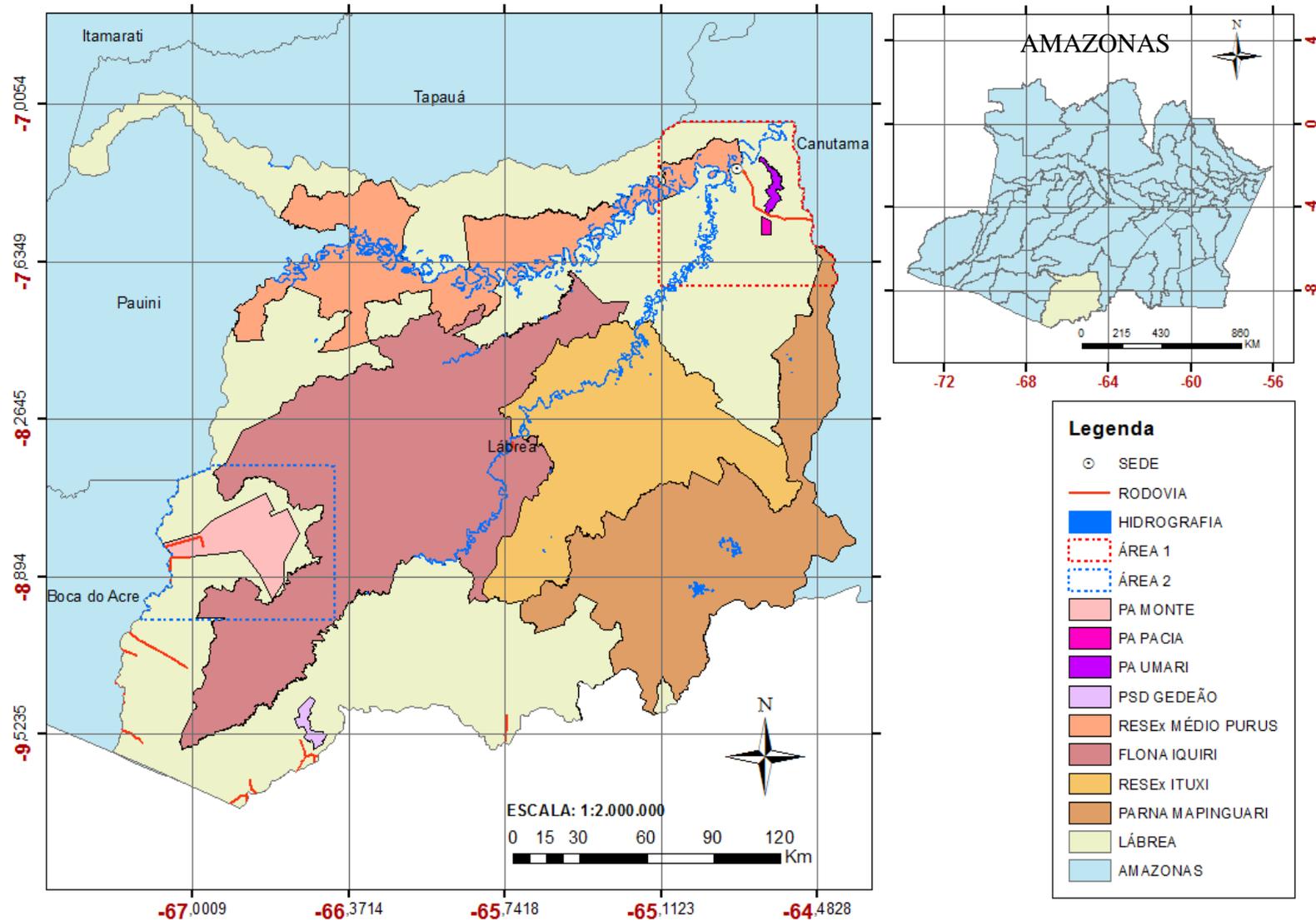


Figura 7. Mapa de Unidades Federais no território de Lábrea.

CATEGORIA	NOME	ÁREA TOTAL (ha)	ÁREA EM LÁBREA (ha)	Focos de Calor - 2014		TOTAL 2014	Focos de Calor - 2015		TOTAL 2015
				AGO	SET		AGO	SET	
Unidades de Conservação de Proteção Integral	<i>PARNA Mapinguari</i>	1.777.000,00	892.110,02	2	50	52	2	122	124
Unidade de Conservação de Uso Sustentável	<i>FLONA Iquiri</i>	1.476.000,00	1.476.000,00	7	13	20	43	70	113
	<i>RESEx Ituxi</i>	776.942,29	551.530,42	11	4	15	5	14	19
	<i>RESEx do Médio Purus</i>	605.501,61	605.501,61	2	9	11	11	11	22
Projeto de Assentamento	<i>PA Monte</i>	124.918,61	114.703,28	311	348	659	2039	404	2443
	<i>PA Pacia</i>	2.849,01	2.849,01	0	4	4	3	3	6
	<i>PA Umari</i>	9.389,10	9.389,10	14	8	22	31	30	61
Projeto de Desenvolvimento Sustentável	<i>PDS Gedeão</i>	11.874,82	11.874,82	2	23	25	45	57	102
Jurisdição Federal	Total	4.784.475,44	3.663.958,26	349	459	808	2179	711	2890

Quadro 2. Quantidade de Focos de calor nas Unidades Federais.

Entre agosto de 2011 a janeiro de 2012 foram detectados nas unidades de conservação no município de Lábrea, 15 focos de calor na PARNA Mapinguari, 15 focos na FLONA Iquiri, 3 focos na RESEx do Médio Purus e 1 foco na RESEx Ituxi (PINTO et al., 2012). Em a relação os focos de calor utilizado neste trabalho notaram-se o aumento de focos dentro das unidades de conservação em 2014 e 2015.

Estudo realizado no Parque Nacional do Itatiaia utilizou os dados de focos de calor do INPE nos anos de 2001, 2007, 2008 e 2010, acumulando 92 focos de calor no perímetro da unidade (TOMZHINSKI; COURA; FERNANDES, 2011). Comparando ao resultado na área do Parque Nacional Mapinguari que teve em 2014 um total de 52 focos e 124 focos em 2015 em curto período de tempo. Outro estudo parecido desenvolvido na Área de Preservação Ambiental do Rio Pandeiros em Minas Gerais, registram 92 focos de calor entre o dia 21 de setembro a 6 de outubro de 2014 (FERNANDES et al., 2016). Nota-se o elevado índice de focos de calor nas áreas das UC aonde deveria ser manter conservada e protegida contra ações que prejudique manutenção do ambiente natural do ecossistema.

Diante dos resultados apresentados, fica evidente a necessidade de uma maior fiscalização e monitoramento das UCs, fato comprovado por Monteiro (2013).

Pinto et al. (2012) também quantificou os focos de calor nas áreas de assentamento do INCRA, entre os meses de agosto de 2011 a janeiro de 2012, sendo 31 focos no PA Monte e 1 foco PA Umari. Diferentemente do resultado encontrado no presente trabalho, que somente no mês de agosto de 2014 o número de focos nas mesmas unidades foram 311 no PA Monte e 14 focos no PA Umari, isso prova a intensificação das queimadas dentro dos assentamentos, conseqüentemente, o aumento da taxa de desmatamento.

Os resultados do trabalho mostraram uma maior concentração de focos de calor na área do projeto de assentamento PA Monte em todo período de estudo, destaca-se que os dados do dia 1 a 8 de agosto (2015) totalizaram 5.985 focos para todo município de Lábrea. Neste mesmo período 2.039 focos localizavam-se na área do assentamento, cerca de 34,06 % do total. Fato comprovado por Peres e Schneider (2012) que ao analisar cerca de dois mil assentamentos na Amazônia, utilizando base de dados de queimadas do INPE apontaram que incidência de incêndios florestais e queimadas é maior em áreas destinadas aos assentamentos em relação as áreas vizinhas. Pesquisa desenvolvido no estado do Acre em projeto de assentamento previu a supressão da vegetação caso o ritmo de desmatamento mantenha no ano de 2018 (MARTINS e BAPTISTA, 2013). Isto evidencia a vulnerabilidade da vegetação próximo ao assentamento, ao avanço do desmatamento ilegal, queimadas e incêndios florestais.

5.3 ANÁLISE DA DETECÇÃO DOS FOCOS EM RELAÇÃO AS CICATRIZES MAPEADAS.

Com as cenas do sensor OLI foi possível observar a distribuição dos focos de calor ativos (INPE) e focos de calor observados (áreas de efetiva queimada), identificados por meio da interpretação da composição de cenas RGB-432.

Área 1 representa a região próximo à sede do município de Lábrea e a Rodovia BR-230 (Transamazônica). No ano de 2014 foram captados pelos sensores de monitoramento de queimada 65 focos em agosto e 66 focos em setembro. Mediante a interpretação das cenas foi possível visualizar 4 focos em agosto e 122 focos em setembro. Em 2015 foram captados 153 focos em agosto, 118 focos em setembro. Na interpretação das cenas teve 44 focos em agosto e 23 focos em setembro (Quadro 3).

	Área 1	Focos Ativos	Focos Observado
2014	Agosto	65	4
	Setembro	66	122
2015	Agosto	153	44
	Setembro	118	23

Quadro 3. Diferença de focos ativos e focos observados na Área 1.

A distribuição dos focos de calor ativos e focos observados na Área 1 nos meses de agosto e setembro (2014) e agosto e setembro (2015), se localizaram em área já desmatada no entorno da rodovia BR-230 e nas áreas de projeto de assentamento próximo ao município de Lábrea (Figuras 8, 9, 10 e 11).

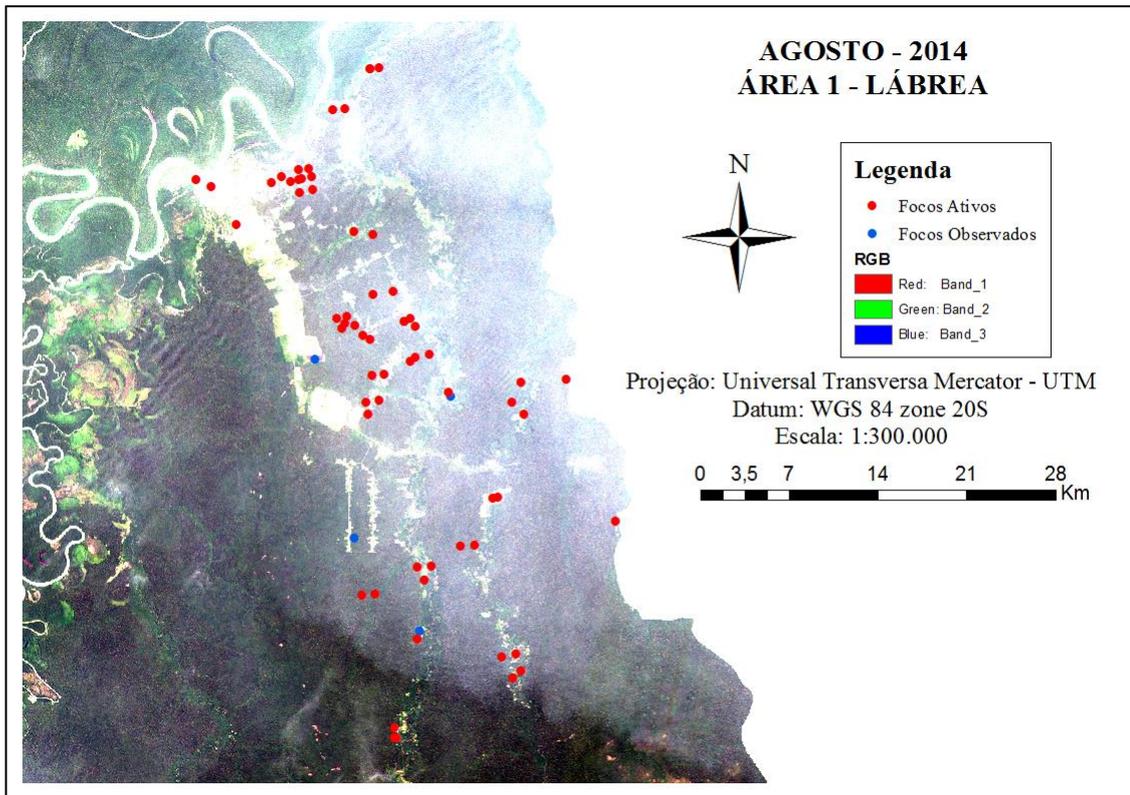


Figura 8. Distribuição dos focos ativos e focos observados em agosto de 2014.

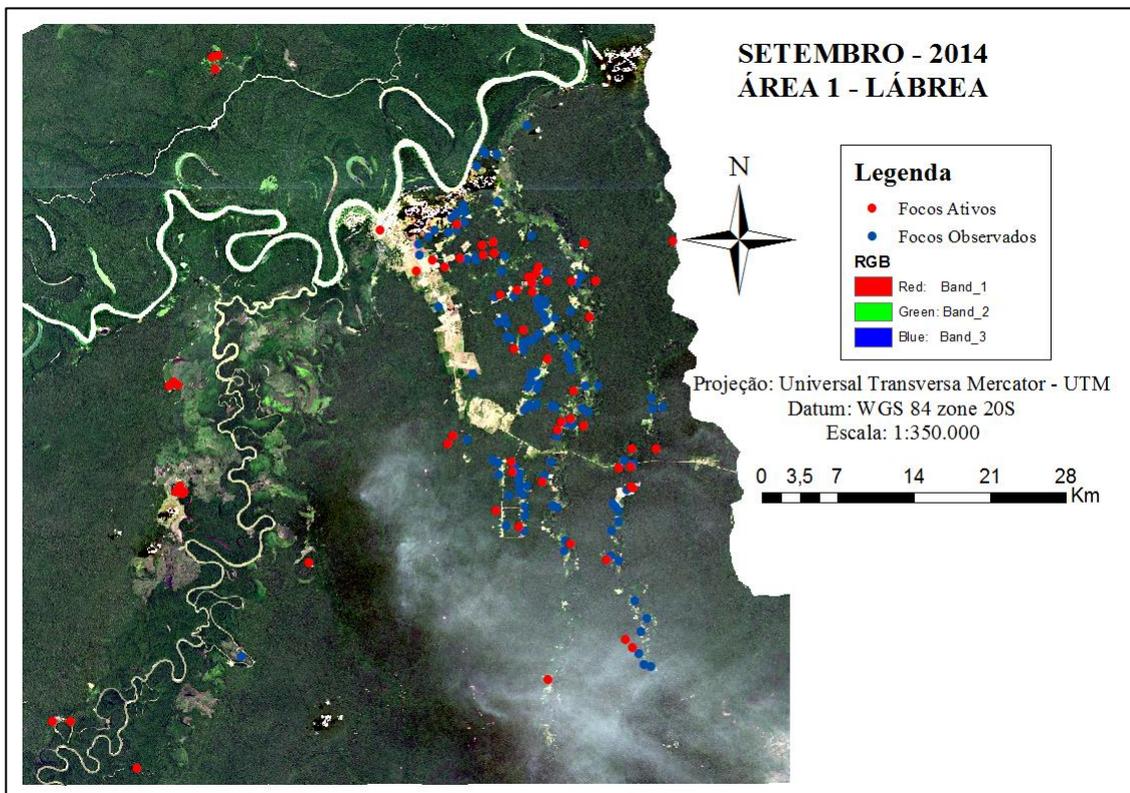


Figura 9. Distribuição dos focos ativos e focos observados em setembro de 2014.

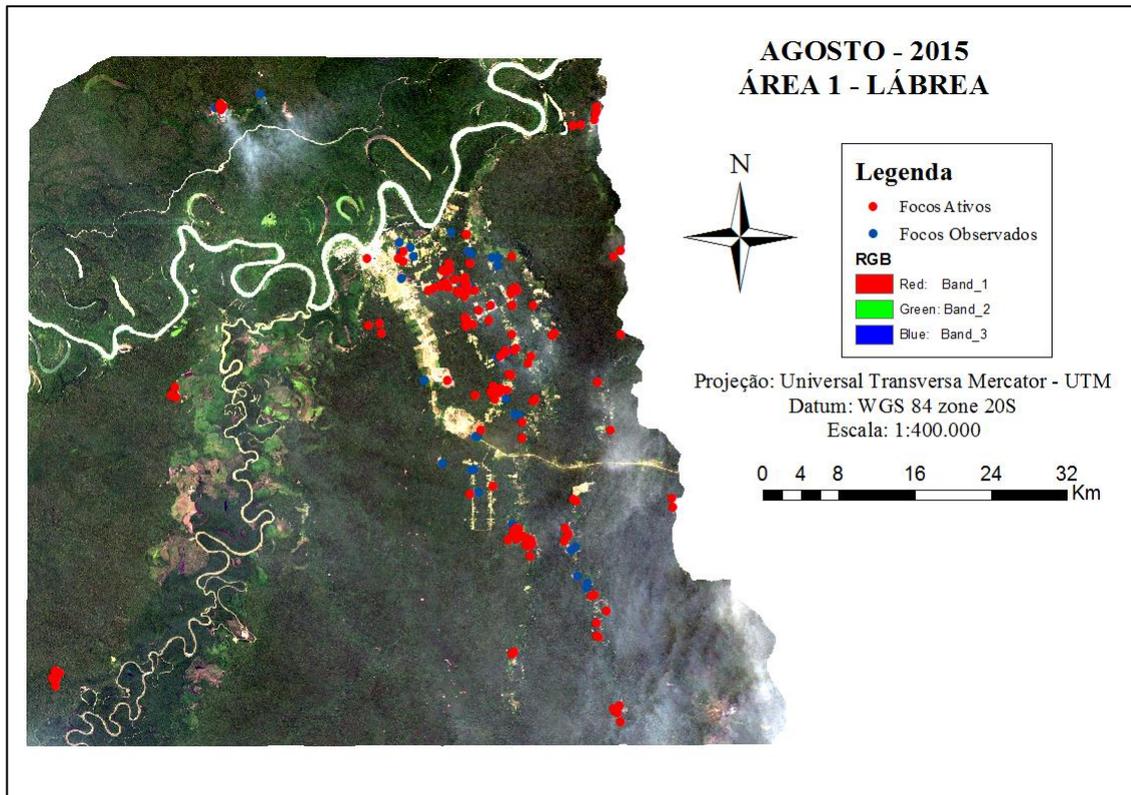


Figura 10. Distribuição dos focos ativos e focos observados em agosto de 2015.

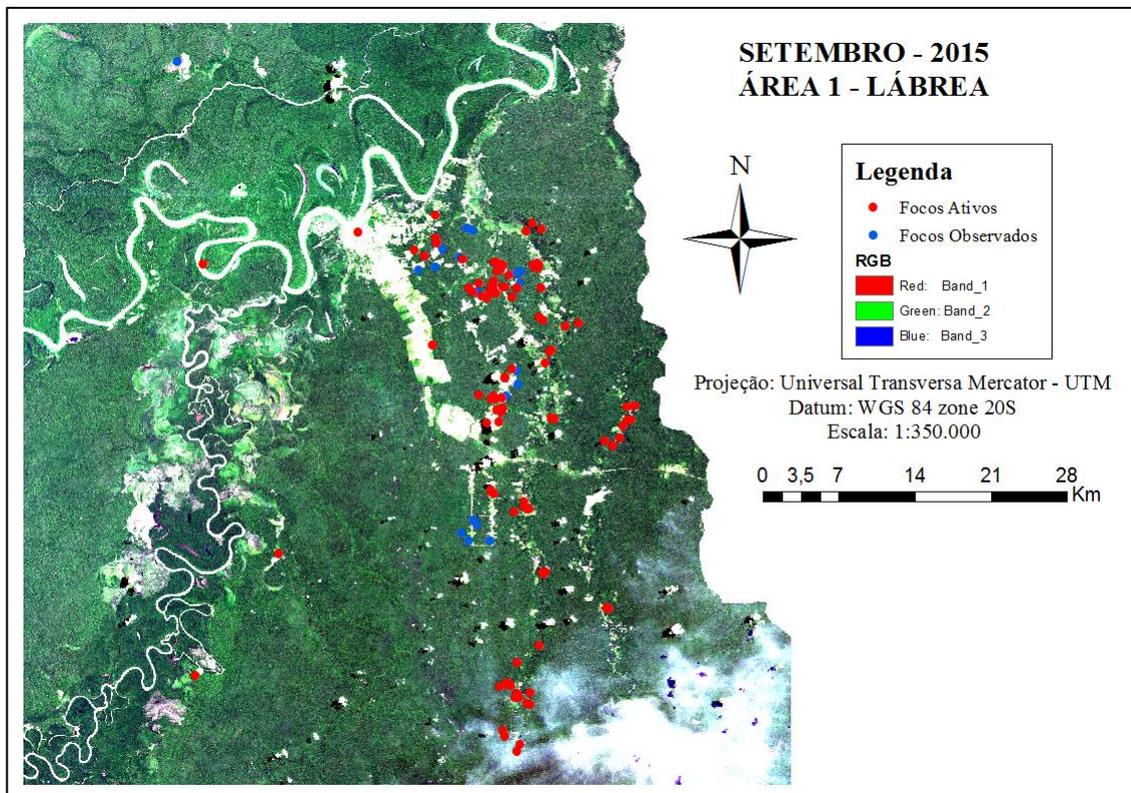


Figura 11. Distribuição dos focos ativos e focos observados em setembro de 2015.

Na Área 2 representa a região ao sudoeste do município de Lábrea, na divisa com município de Boca do Acre, a área amostrada possui um projeto de assentamento do INCRA (PA MONTE).

No ano de 2014 foram captados pelos sensores de monitoramento de queimada 417 focos em agosto e 640 focos em setembro. Com as cenas do sensor OLI foi possível visualizar 31 focos em agosto e 244 focos em setembro. Já em 2015, foram captados 3.247 focos em agosto, 743 focos em setembro. Já na visualização das cenas teve 376 focos em agosto e 416 focos em setembro (Quadro 4).

	Área 2	Focos Ativos	Focos Observado
2014	Agosto	417	31
	Setembro	640	244
2015	Agosto	3.247	376
	Setembro	743	416

Quadro 4. Diferença de focos ativos e focos observados na Área 2.

A distribuição dos focos de calor ativos e focos observados na Área 2 nos meses de agosto e setembro (2014) e agosto e setembro (2015), se localizaram em áreas de pastagem dentro na área do assentamento PA Monte (Figura 12, 13, 14 e 15).

Em geral, esses focos se situaram em áreas já abertas, cujos detentores utilizam o fogo como limpeza das mesmas ou próximo a elas, em florestas degradadas por sucessivos eventos de incêndios florestais e exploração madeireira (PINTO et al., 2012). Fato este comprovado nesta pesquisa, em que os focos situaram em áreas de pastagem já abertas, devido à grande quantidade de fazendas no município e assim como o avanço do desmatamento para abertura de novas áreas de pastagem, utilizando o fogo como forma de limpeza das áreas.

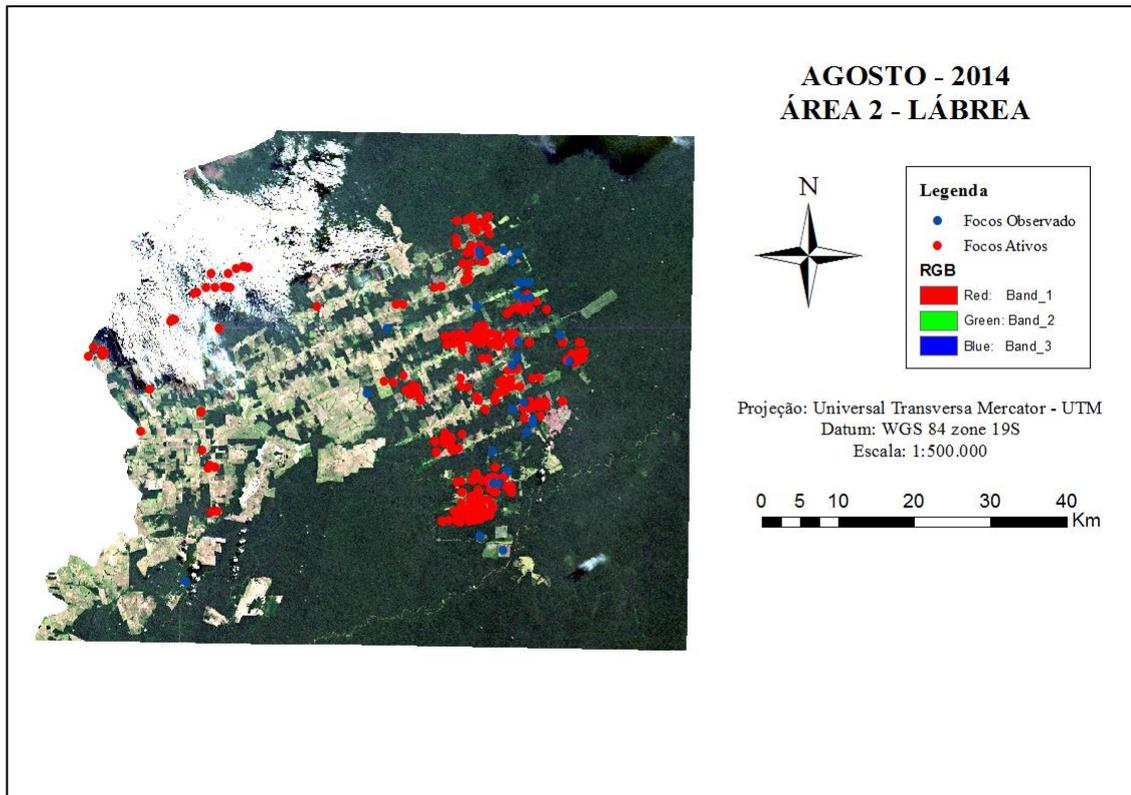


Figura 12. Distribuição dos focos ativos e focos observados em agosto de 2014.

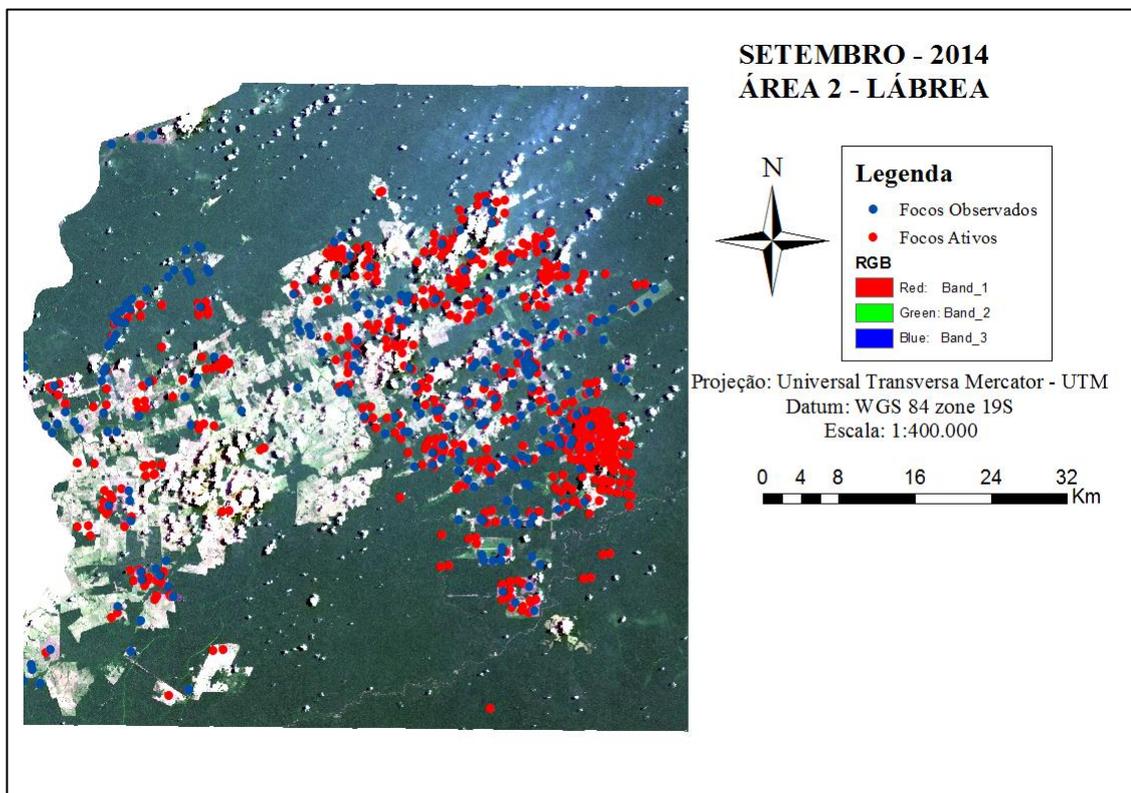


Figura 13. Distribuição dos focos ativos e focos observados em setembro de 2014.

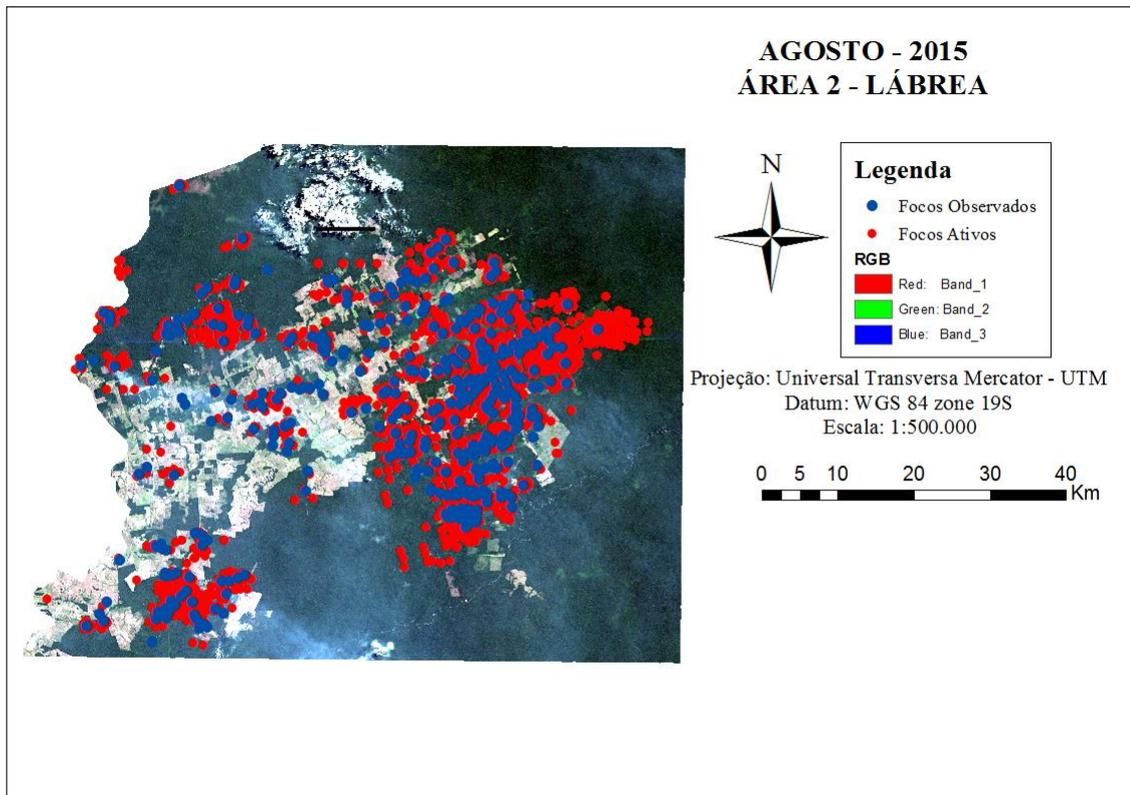


Figura 14. Distribuição dos focos ativos e focos observados em agosto de 2015.

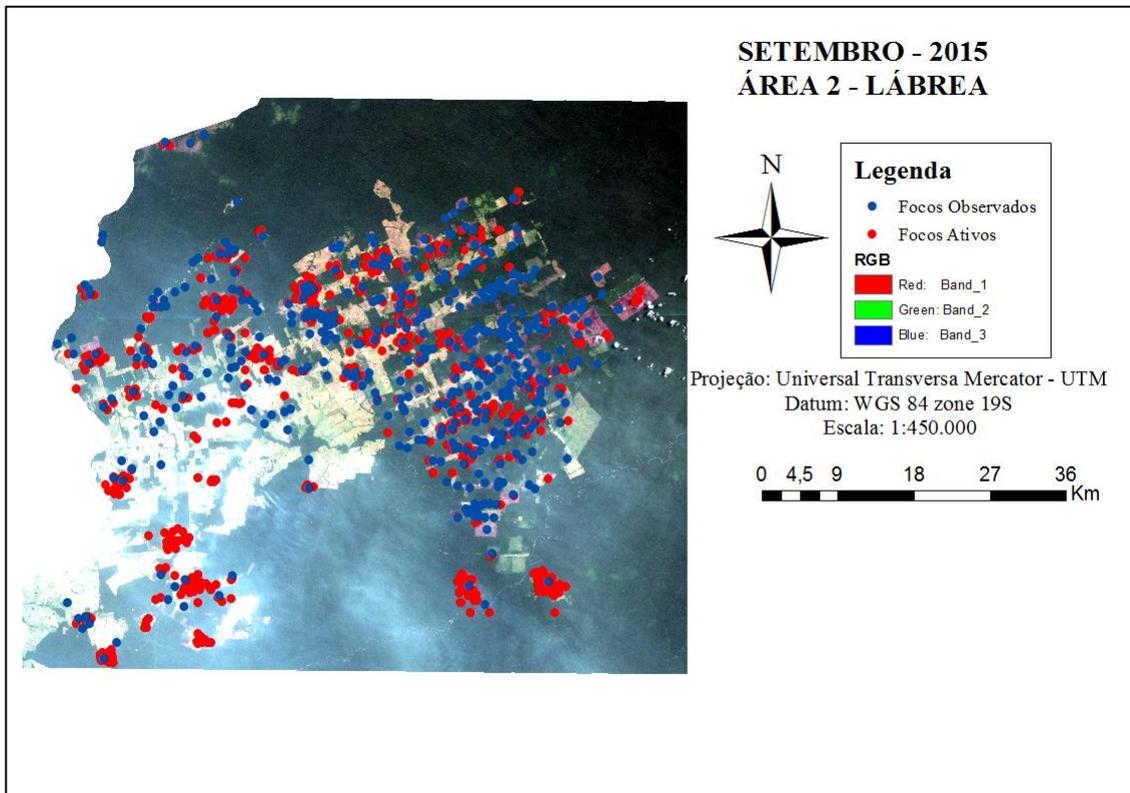


Figura 15. Distribuição dos focos ativos e focos observados em setembro de 2015.

Acredita-se que alguns fatores influenciaram a baixa observação de cicatrizes causada pelo fogo nas áreas de estudo, como a grande quantidade de nuvem nos períodos de aquisições das cenas. Outro fator que influencia no resultado, é o elevado brilho em áreas de solos expostos e na área urbana que pode ter sofrido interferência de efeitos atmosférico ou estar relacionado ao horário de imageamento do sensor.

Por outro lado, o elevado número de focos de calor pode ser motivado pela captação de calor na superfície por mais de um sensor, utilizou-se então o todos as informações contidas no banco de dados dos sensores de monitoramento em que o INPE armazena os dados. Segundo o INPE, a localização dos focos de valor em relação área queimada pode está a 1 km de raio, nos satélites geoestacionários o raio de localização chega a até 6 km, essa imprecisão está relacionada a resolução espacial relativamente baixa dos satélites de monitoramento.

Diversos fatores podem prejudicar a detecção de focos de calor ou até mesmo sendo impedido a detecção, como queimadas de pequenas durações, ocorrendo entre as imagens disponíveis, nuvens cobrindo a região na hora do imageamento, fogo abaixo do dossel da floresta (INPE, 2017). Devido a esse motivo pode-se explicar a observação de cicatrizes em área onde não existia presença de focos ativos no perímetro da área queimada. Ressalta-se que algumas das cicatrizes observadas podem ter se originado no período anterior à data proposto para análise desta pesquisa.

Na literatura relata a existência da relação entre precisão dos focos de calor e o tamanho da área queimada. Os sensores têm maior precisão na localização em áreas com maiores extensões de queimada (REMMEL e PERERA, 2001; FERNANDES et al., 2016) fato comprovado nesta pesquisa.

A regeneração natural pode influir na observação e interpretação de imagens de satélite. Pessoa et al. (2014) observou a presença de rebrota bastante homogênea após 22 dias da ocorrência da queimada da vegetação, fato já estudado por Coutinho (1990) que pode constatar, também, uma diminuição da quantidade de cinzas depositadas na superfície devido a eventos de chuvas. Dessa forma, áreas afetadas por uma queimada podem ser confundidas ou não identificadas pela interpretação visual de imagens. Esse fato confirma a importância da utilização de índices de vegetação para análise de eventos na superfície como queimadas e incêndios florestais.

5.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Na área do município de Lábrea (Área-1) verifica-se uma composição de cenas nas cores naturais (RGB-432), os índices NDVI e NBR de agosto e setembro de 2014 (Figuras 16 e 17). Nas composições de cenas nesta área pode-se observar a sede do município, a rodovia BR-230 e o rio Purus.

Na data de aquisição da cena em agosto verificou-se um elevado brilho da área urbana e do solo exposto e também existe a presença de uma camada de nuvens na cena, portanto, tais elementos podem alterar os valores de resposta espectral do alvo na geração dos índices de vegetação. Os valores de NDVI variam de 0,754078 a -0,666062, as cores de tons de verdes representam a vegetação, já cores de amarelo até vermelho representam áreas de solo exposto e área urbana.

Os valores de NBR na variação de 1 a -0,41633, apresentaram-se com cores diferente do NDVI, a vegetação se caracterizou com coloração num verde mais claro, próximo do amarelo; o solo exposto e área urbana se apresentaram na cor vermelha com maior constante em relação ao NDVI. Na imagem destaque-se as áreas de várzeas no período de estiagem nas cores em vermelho.

Em setembro obteve-se uma cena mais nítida em relação a de agosto com diminuição do brilho na área urbana e solo exposto. Os valores de NDVI variaram 0,84969 a -0,651763, já os valores de NBR variaram de 1 a -0,741572.

Na cena de agosto de 2015 na composição de cores naturais (RGB-432) é possível observar uma fumaça ao norte da sede do município que se caracteriza como uma queimada. Os valores de NDVI variaram de 0,8511 a -1 e os valores de NBR variam de 1,06966 a -1, é nítida a mudança na área aonde se origina a fumaça a partir dos índices. A área apresentou coloração em amarelo nas bordas no NDVI e no centro com coloração vermelha. No NBR, as queimadas apresentaram-se na cor vermelha e vegetação com tons de verde claro (Figura 18).

No mês de setembro de 2015 (Figura 19) a composição RGB-432 mostrou-se com elevado brilho nas áreas urbanas e de solo exposto. Os valores NDVI variaram de 1 a -1, e os valores de NBR variaram de 1 a -1.

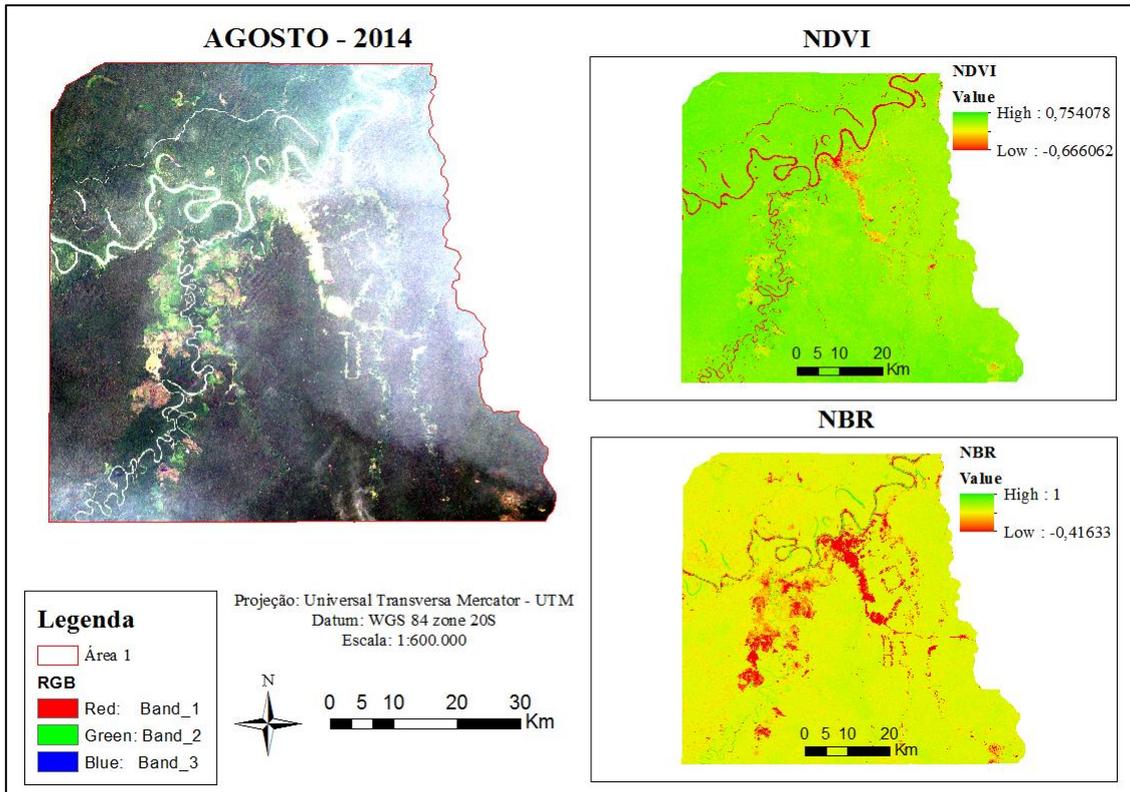


Figura 16. Índice de vegetação NDVI e NBR em agosto de 2014 na área 1.

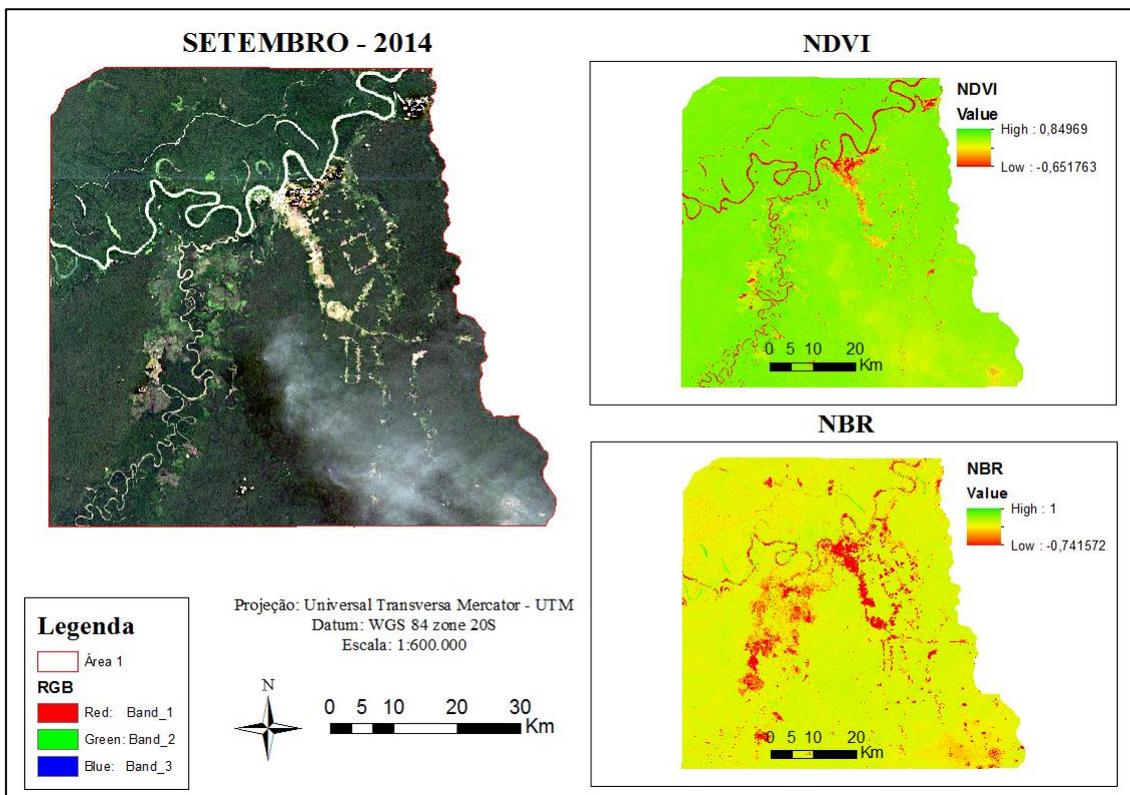


Figura 17. Índice de vegetação NDVI e NBR em setembro de 2014 na área 1.

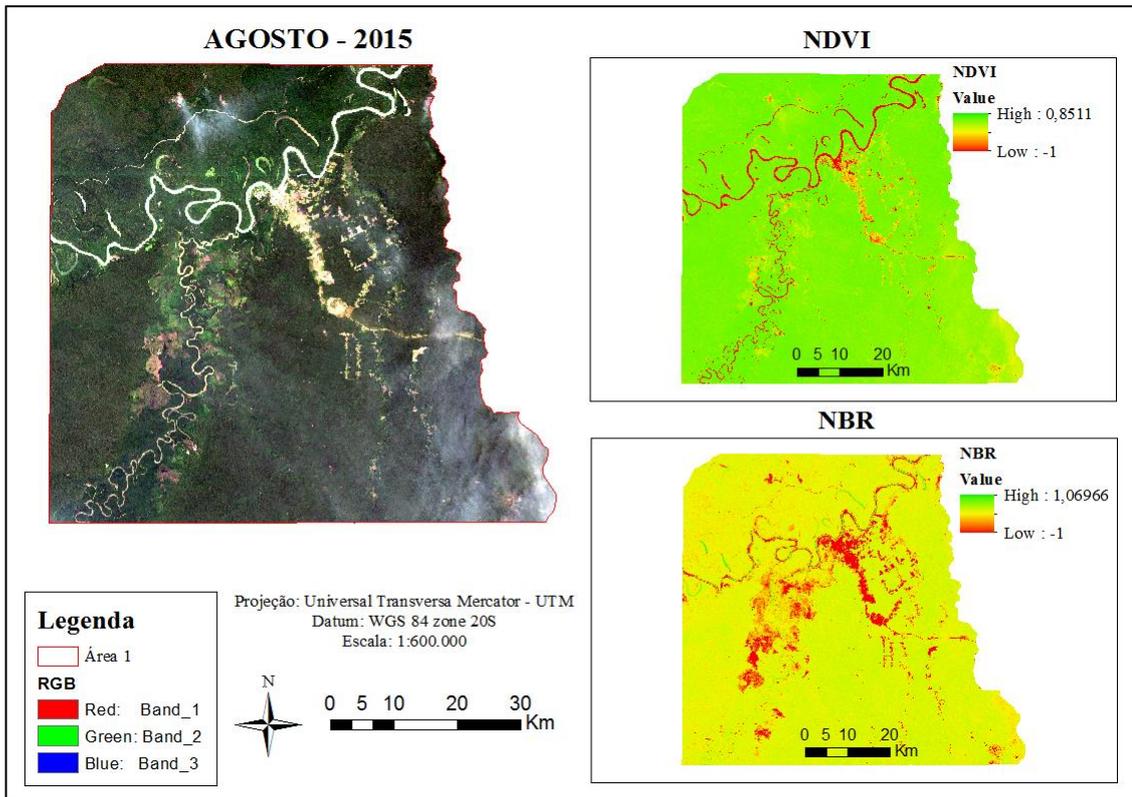


Figura 18. Índice de vegetação NDVI e NBR em agosto de 2015 na área 1.

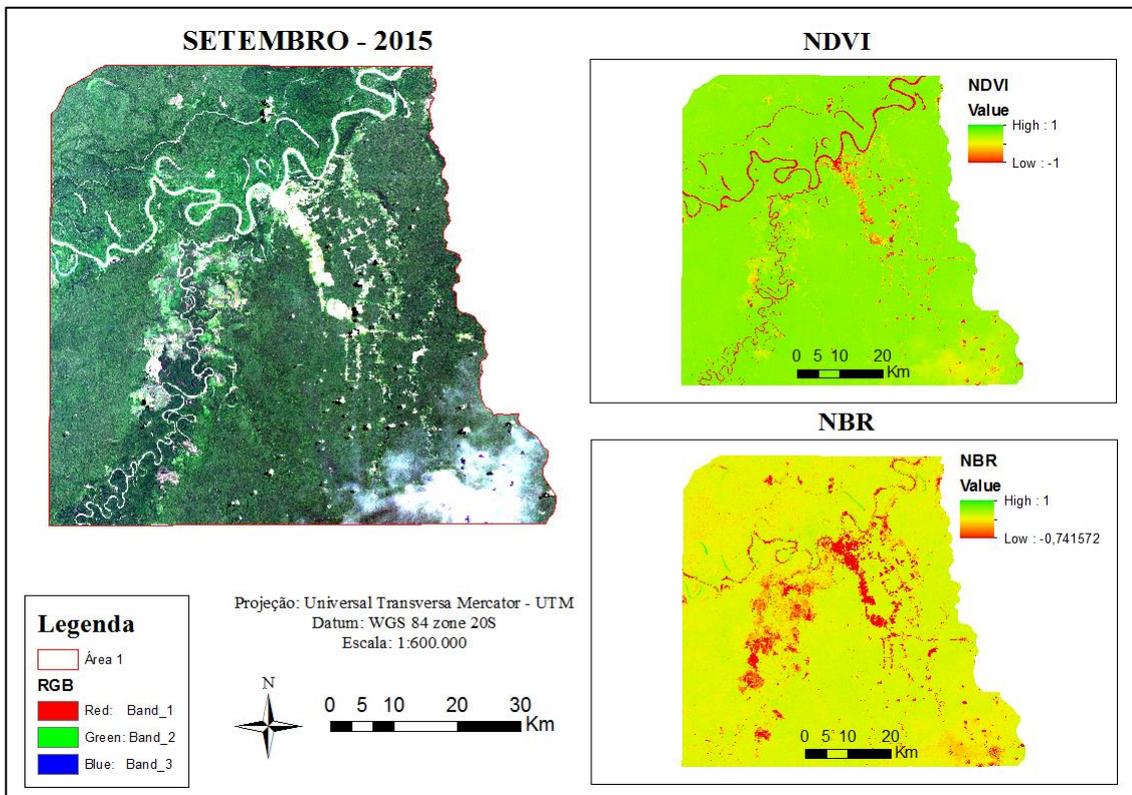


Figura 19. Índice de vegetação NDVI e NBR em setembro de 2015 na área 1.

Na Área 2 que fica localizada no sudoeste do município de Lábrea, na divisa com município de Boca do Acre, área que faz parte do assentamento do INCRA (PA Monte) é onde se concentra a maior frente de desmatamento no município (Figura 20 e 21). Na imagem de agosto de 2014 a presença de nuvem dificultou a interpretação e geração dos índices de vegetação, valores de NDVI variaram de 1 a -1, e os valores de NBR variam de 0,642336 a -0,362872.

Em setembro de 2014 a imagem teve uma grande quantidade de nuvens e também houve uma elevada quantidade de fumaça de queimada. É possível observar na composição de imagem (RGB-432) a mudança das cores no mês de setembro (Figura 21) comparado ao mês de agosto (Figura 20) e a presença de cicatrizes na superfície causada pela queimada de biomassa, caracterizada na coloração em tons de violeta. Os valores de NDVI variam de 1 a -0,583333 e os valores de NBR variam de 1 a -0,847402.

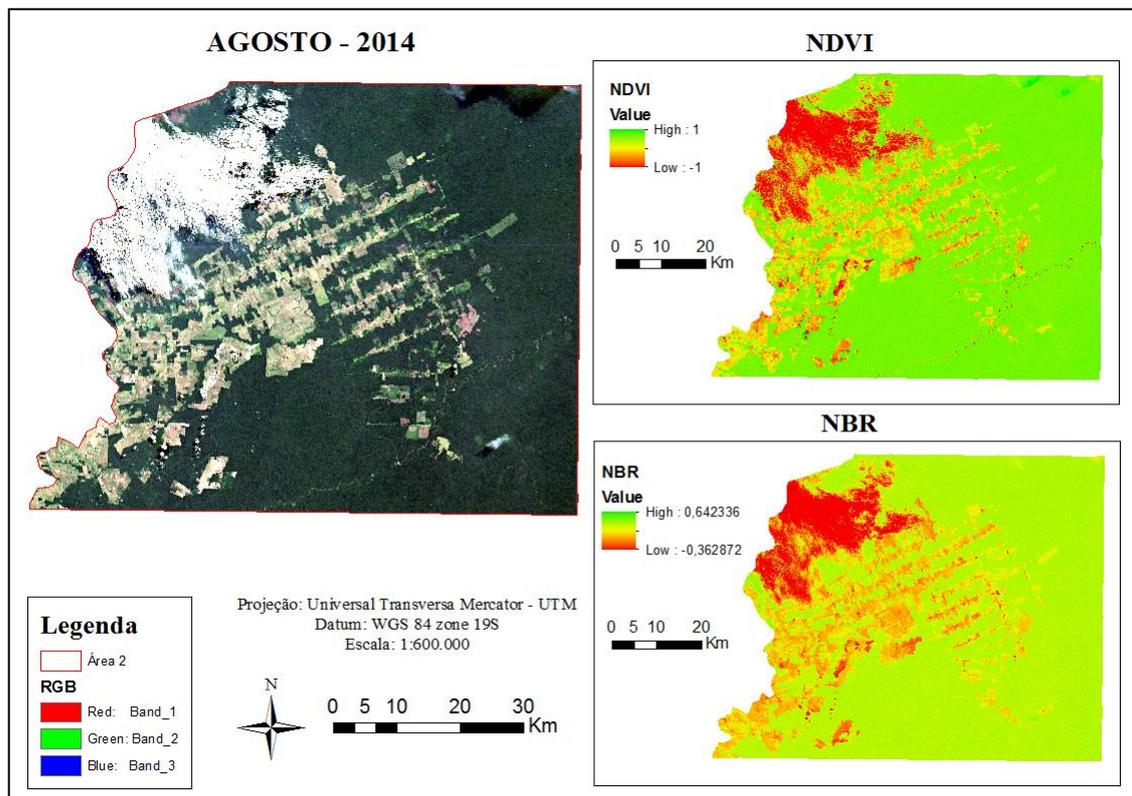


Figura 20. Índice de vegetação NDVI e NBR em agosto de 2014 na área 2.

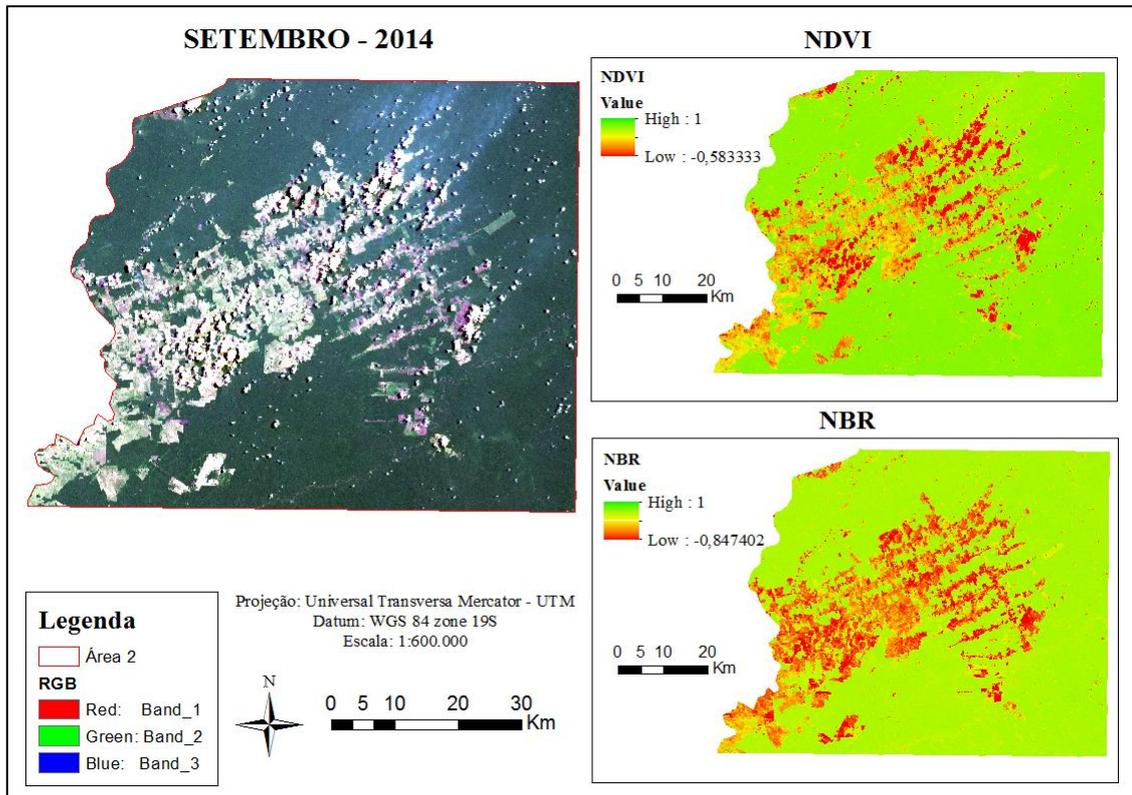


Figura 21. Índice de vegetação NDVI e NBR em setembro de 2014 na área 2.

A cena da área 2 de agosto de 2015 apresenta uma maior nitidez da superfície estudada, o que possibilita distinguir as áreas de vegetação das áreas de solos expostos (pastagem) e áreas queimadas (cor violeta). Os valores de NDVI variaram de 1 a -0,910954, o NBR variou de 1 a -0,599791, os dois índices tiveram pouca diferença em relação ao gradiente de cores e assim as queimadas se apresentam com cor de vermelho mais intenso, o solo exposto com cor pouco mais alaranjada (Figura 22).

Na imagem de setembro de 2015 observa-se um maior brilho da superfície na data de passagem do satélite e assim como nas outras composições de cenas, as áreas queimadas caracterizam-se na coloração violeta. O NDVI apresentou valores de 0,808645 a -0,181314, os menos valores estão relacionado a diminuição da vegetação, conseqüentemente, as áreas de cicatrizes de queimadas tem menos valores e coloração avermelhada, conforme a o gradiente de cores na legenda da Figura 23. Os valores de NBR variam 1 a -0,492872, desta forma as áreas queimadas apresentaram uma cor avermelhada ligada aos menores valores encontrado (Figura 23).

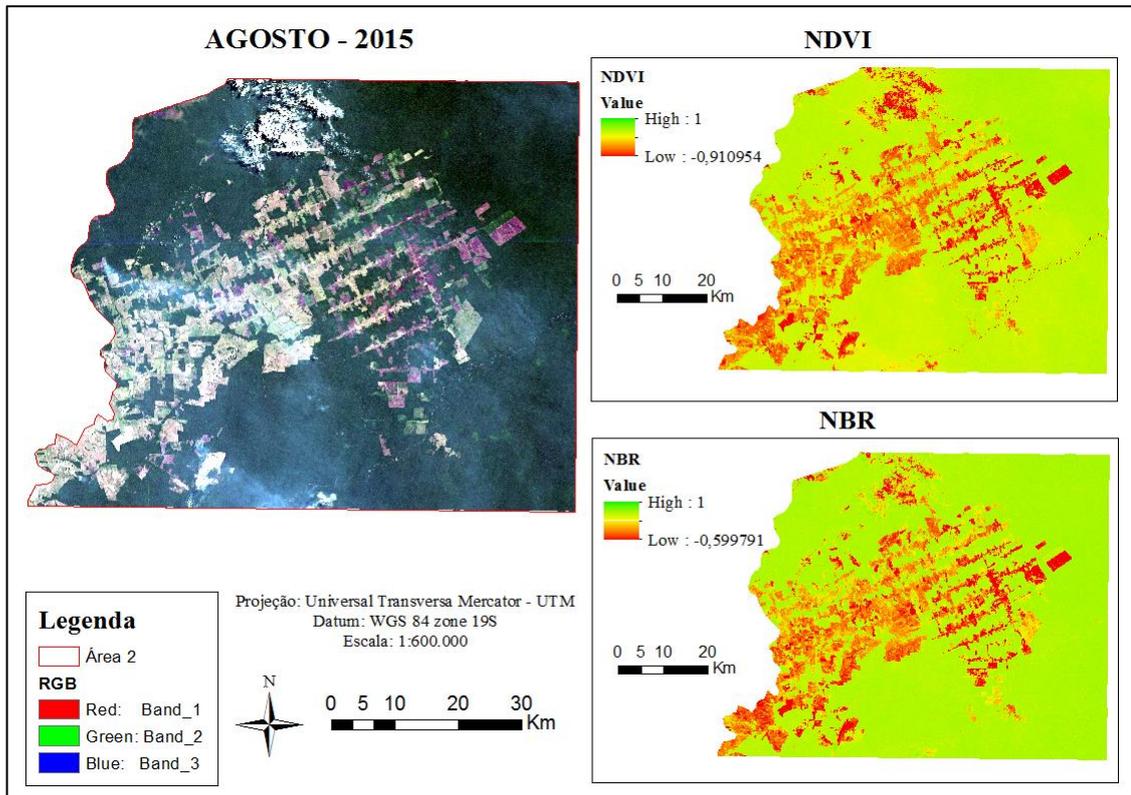


Figura 22. Índice de vegetação NDVI e NBR em agosto de 2015 na área 2.

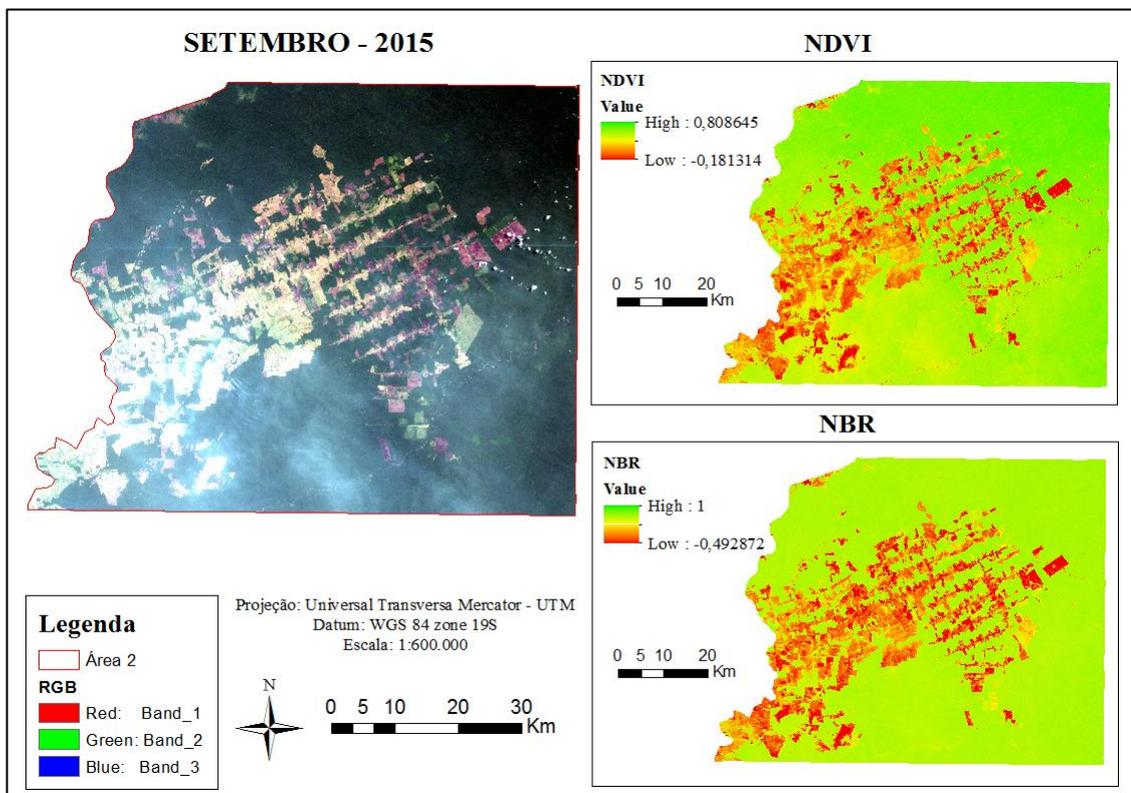


Figura 23. Índice de vegetação NDVI e NBR em setembro de 2015 na área 2.

Os valores menores assumidos no NDVI estão relacionados as áreas com ausência de vegetação e os valores maiores estão relacionados à presença de vegetação (floresta) resultados também encontrados por Fernandes et al. (2016). Para Fernandes et al. (2016) o NBR apresentou maior sensibilidade na identificação de cicatrizes na vegetação com tons de vermelho, isto foi possível notar no presente trabalho e além disso, houve uma elevada sensibilidade na distinção entre áreas de solos expostos e áreas de várzeas.

Estudo análogo ao desta presente pesquisa, foi desenvolvida por Deprá et al. (2012), identificaram queimadas nos campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul, utilizando NDVI e NBR, verificou que o NBR apresentou pouca variação nos seus valores, dificultando a interpretação dos dados, fato provado neste trabalho em algumas áreas de pastagem.

Cardozo et al. (2011) analisando os índices de vegetação NDVI e NBR para avaliação de áreas queimadas obtiveram resultados satisfatórios. Pesquisa no cerrado utilizando diversos índices de vegetação, dentre eles o NDVI e NBR (pré-fogo e pós-fogo) e notaram a diminuição dos valores após a queimada por meio dos índices (PEREIRA et al., 2016).

5.5 MAPEAMENTO DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS

O mapeamento das cicatrizes consistiu em vetorizar as áreas queimadas pela interpretação visual mediante a parâmetros de distinção, tais como: cores, texturas e padrões geométricos. O resultado da vetorização na Área (1) no ano de 2014 foi de aproximadamente 68,22 hectares (ha) no mês de agosto, no mês de setembro foi de 694,78 ha, incremento de 90,18% em relação mês anterior, esse aumento da área queimada do mês de setembro é devido à baixa visibilidade no mês de agosto devido à presença de nuvens e um alto brilho da área urbana e do solo exposto, com isso dificultado a interpretação da superfície (Figura 16).

No ano seguinte (2015) na mesma área (1) foi estimado para o mês de agosto 624,97 ha de área queimada, em setembro a área afetada diminuiu para 265,86 ha, resultando num incremento negativo, em porcentagem de -135,08%. Essa diminuição é explicada pelo aumento do brilho da área urbana e de solo exposto, assim como ocorreu na imagem de agosto de 2014 que impossibilitou a interpretação.

Na área (2), sudoeste de Lábrea, região próxima à divisa com município de Boca do Acre e com presença do projeto de assentamento PA Monte, que apresentou maior número de focos de calor, conforme os resultados da Tabela 3.

No mês de agosto (2014) foram estimados 1.106,15 ha de áreas queimadas, já em setembro (2014) teve incremento de 90,83% em relação ao mês anterior as áreas estimadas

foram de 12.066,48 ha. As áreas queimadas devem ter sido maiores, pois não foi vetorizada toda região de estudo devido à grande quantidade de nuvens e fumaça na data de passagem do sensor, conseqüentemente, não foi possível mapear toda área.

Em 2015 as cenas em diferentes meses (agosto e setembro) teve baixa incidência de nuvens, sendo assim possível o mapeamento praticamente total da área (2), áreas estimadas em agosto foi 22.403,86 ha e no mês de setembro foram estimadas as maiores áreas queimadas durante todo período com cerca de 23.054.85 ha, incremento de 5,53%.

É importante salienta que estimativa das áreas no mês de setembro (2014 e 2015) apresenta sobreposição com área queimada em agosto (2014 e 2015), então as queimadas observadas e estimadas em agosto, conseqüentemente, poderá entrar na interpretação e estimativa no mês de setembro (Quadro 5).

ÁREA QUEIMADA EM LÁBREA								
Amostra	2014				2015			
	Ago (ha)	Set (ha)	IC (ha)	IC (%)	Ago (ha)	Set(ha)	IC(ha)	IC (%)
Área 1	68,22	694,78	626,56	90,18	624,97	265,86	-359,11	-135,08
Área 2	1.106,15	12.066,48	10.960,33	90,83	21.778,89	23.054,85	1.275,96	5,53
Total	1.174,37	12.761,26	-	-	22.403,86	23.320,71	-	-

Quadro 5. Estimativa das áreas queimadas (Área 1 e 2) do município de Lábrea em diferentes datas. IC= Incremento.

Segundo Pinto et al. (2012) os desmatamentos nas áreas de projetos de assentamento totalizaram 1.692 ha (agosto de 2011 a janeiro de 2012), no mesmo período no ano anterior áreas foram de 5.819 ha (agosto de 2010 a janeiro de 2011). As áreas desmatadas dentro do assentamento PA Monte foram de 121 ha nos meses de agosto de 2011 a janeiro de 2012, se comparar os resultados de Pinto *et al.* (2012) com os resultados encontrado neste trabalho na área 2, que corresponde a área de localização do PA Monte, na data com menores valores de áreas queimadas (agosto de 2014) foram estimadas cerca de 1.174,37 ha, quantidade praticamente 10 vezes maior.

É possível observar as áreas de cicatrizes de queimada na superfície na composição de imagem (RGB-432), caracterizada por tons de cor violeta e o perímetro delimitado na cor

vermelha (Figura 24). Comparado com índice de vegetação NDVI o resultado são áreas queimadas caracterizadas na cor vermelha (perímetro delimitado em azul), o solo exposto caracteriza uma cor entre amarelo e alaranjado, a vegetação saudável (floresta) mostra-se com coloração de verde claro.

Já o índice de vegetação NBR (Figura 25) representou as áreas queimadas com tons de vermelho, possuindo um maior contraste em contrapartida ao NDVI. Na primeira imagem o NBR se confundindo com solo exposto às margens da rodovia, possivelmente devido à interferência do alto brilho do solo exposto e presença de uma camada de nuvens. Na outra área sem presença de nuvens, foi possível identificar com eficácia a diferença das áreas queimadas do solo exposto, bem como a diferença da floresta.

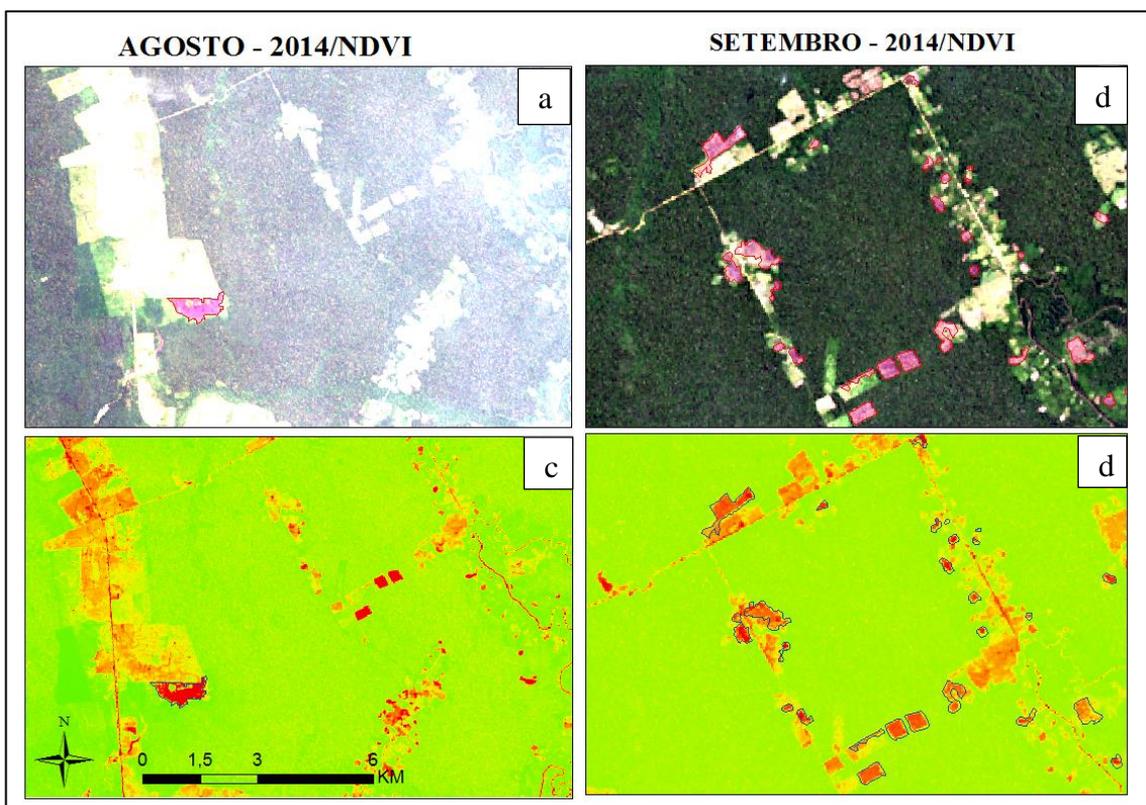


Figura 24. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NDVI.

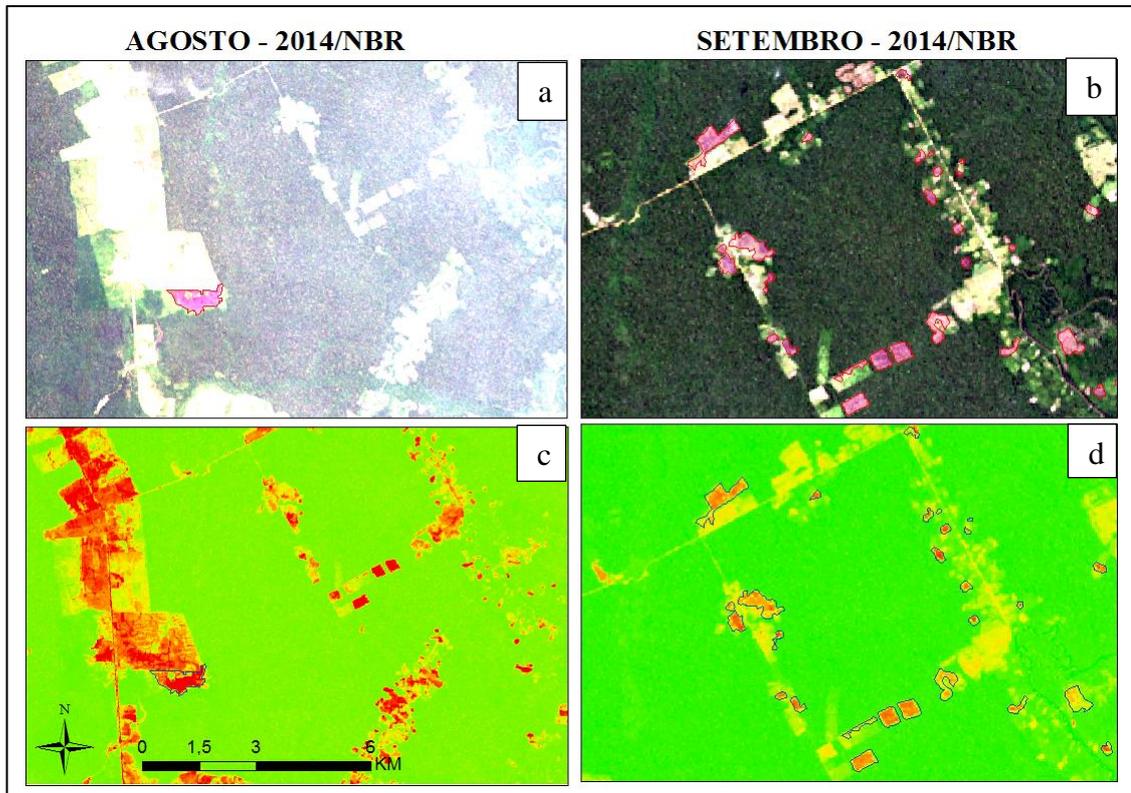


Figura 25. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NBR.

Pode-se observar a presença de uma queimada em ação na cena de agosto de 2015 e área após a queimada em setembro de 2015. Por meio do NDVI é possível distinguir cicatriz na superfície, diferente da vegetação nas cores verdes e cicatriz da queimada na cor vermelha (Figura 26). Já no NBR é possível ter uma maior distinção e precisão da área queimada, em relação a vegetação na borda da área afetada (Figura 27).

Em outra área do ano de 2015 é possível observar presença de floresta, pastagem, solo exposto e queimada. Que através do índice de vegetação NDVI pode se notar a diferença da resposta na superfície na presença ou na ausência de vegetação com eficácia, a floresta com grande atividade fotossintetizante absorvendo grande quantidade de energia. Já a pastagem é caracterizada por tons de verde claro com baixa atividade fotossintetizante. O solo exposto caracterizado pela cor amarela, e a área queimada caracteriza-se pela cor vermelha se distinguindo das outras colorações (Figura 28).

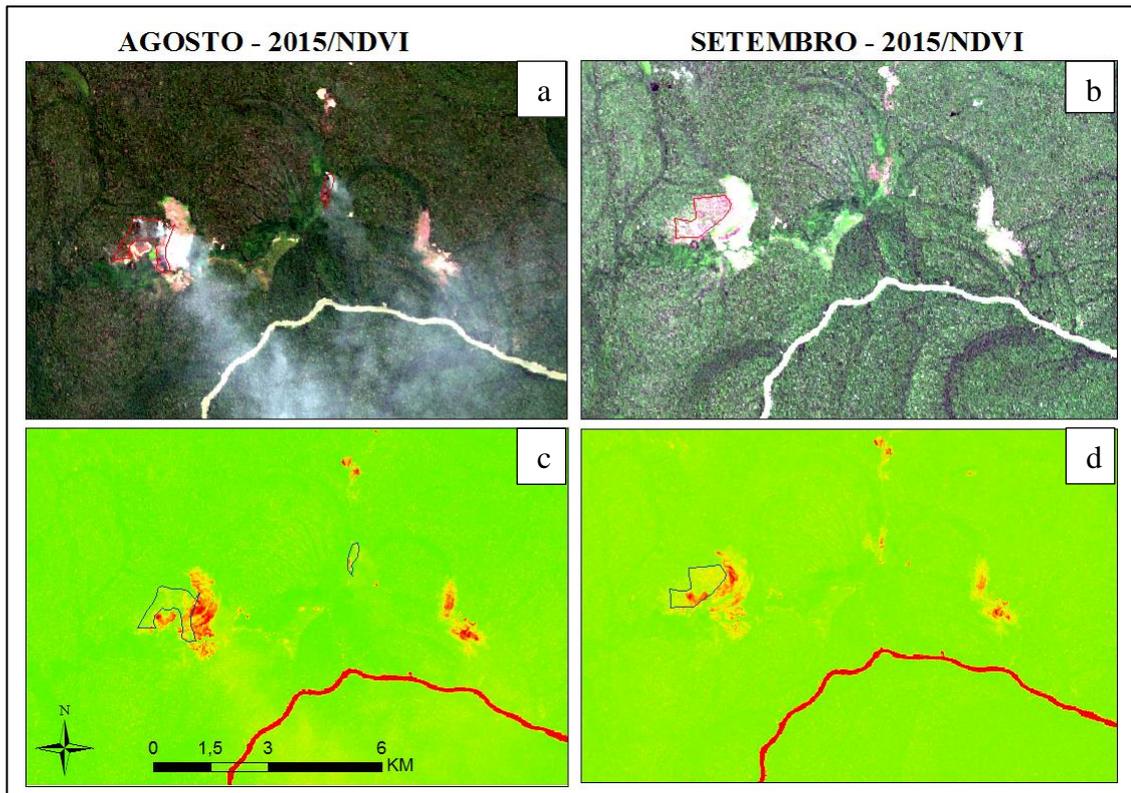


Figura 26. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NDVI.

Com o índice de vegetação NBR pode-se observar a queimada em vermelho bem intenso, com área bem caracterizada, o solo exposto se apresentou bem nítido com tons de cores em laranja, a pastagem se distingue do solo exposto com tons de verde claro e floresta com cor verde (Figura 29).

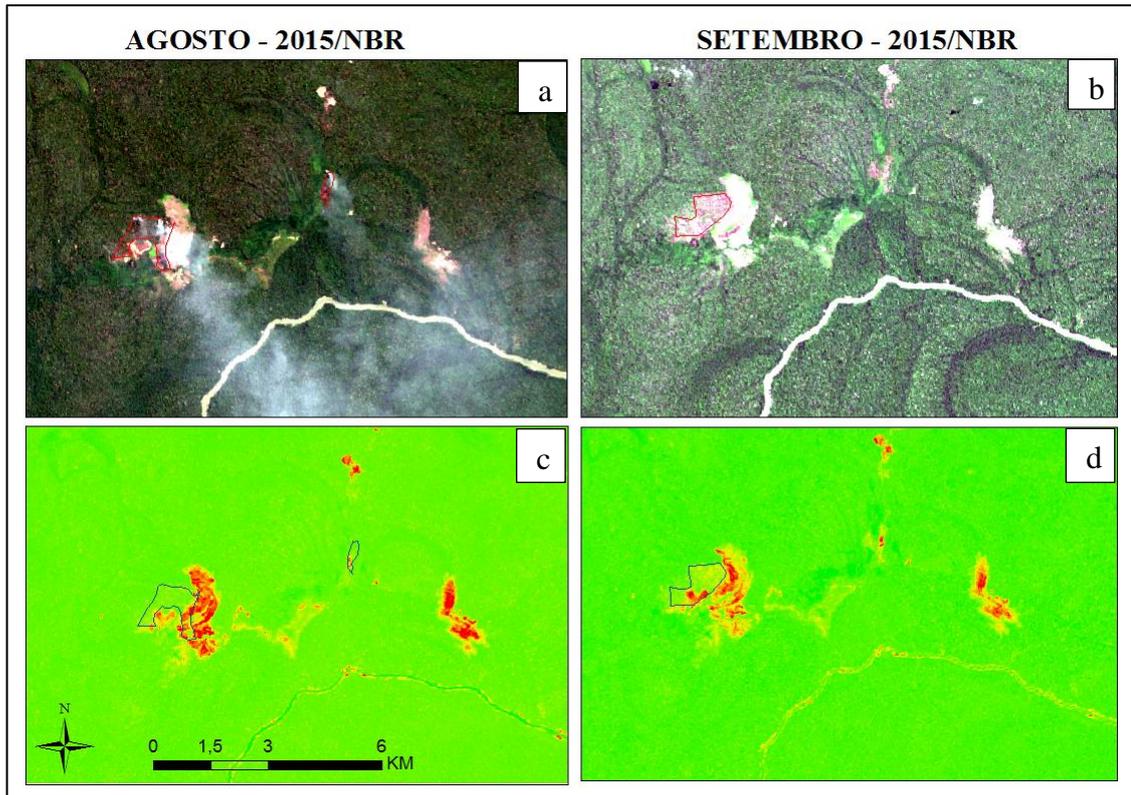


Figura 27. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NBR.

Anderson et al. (2005), utilizou o modelo linear de mistura espectral e imagens de índice de vegetação para detecção de cicatrizes de áreas queimadas, utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no Estado do Mato Grosso, que mostrou-se eficaz para quantificar as áreas de cicatrizes de queimadas. O modelo linear de mistura espectral é atualmente utilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais no cálculo de taxa de desmatamento da Amazônia, denominado PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia) (CÂMARA; VALERIANO; SOARES, 2006).

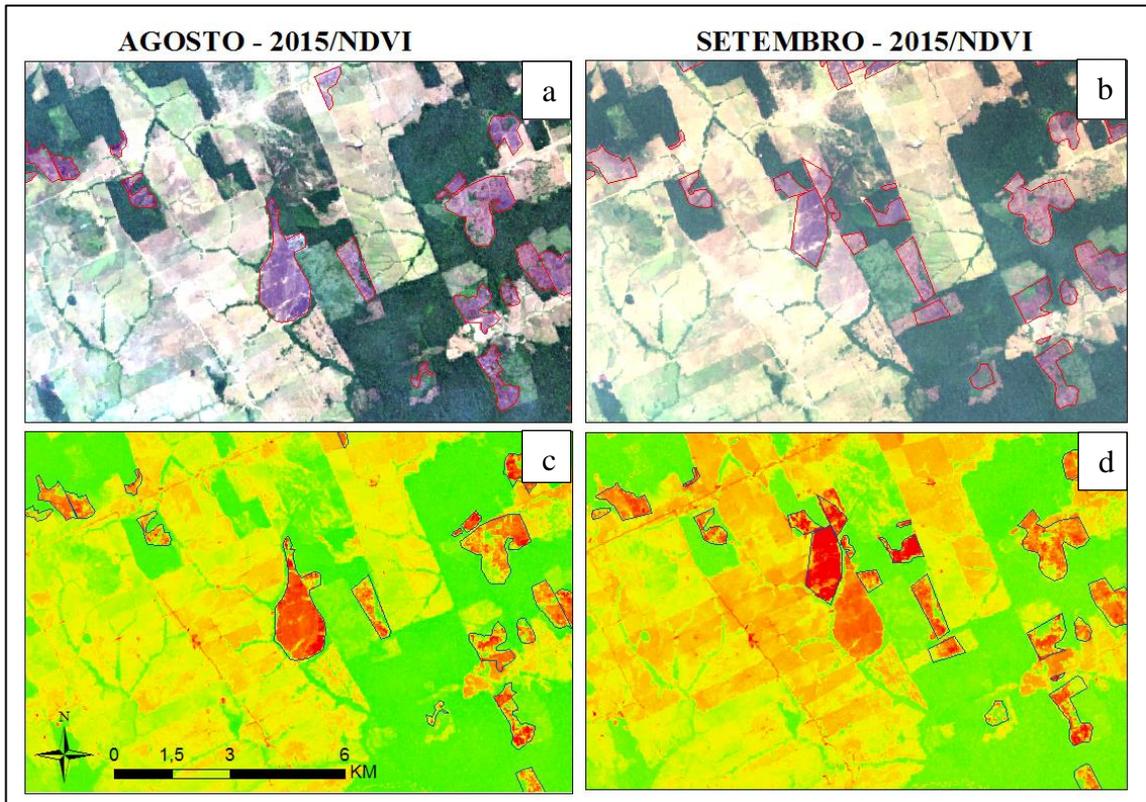


Figura 28. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NDVI.

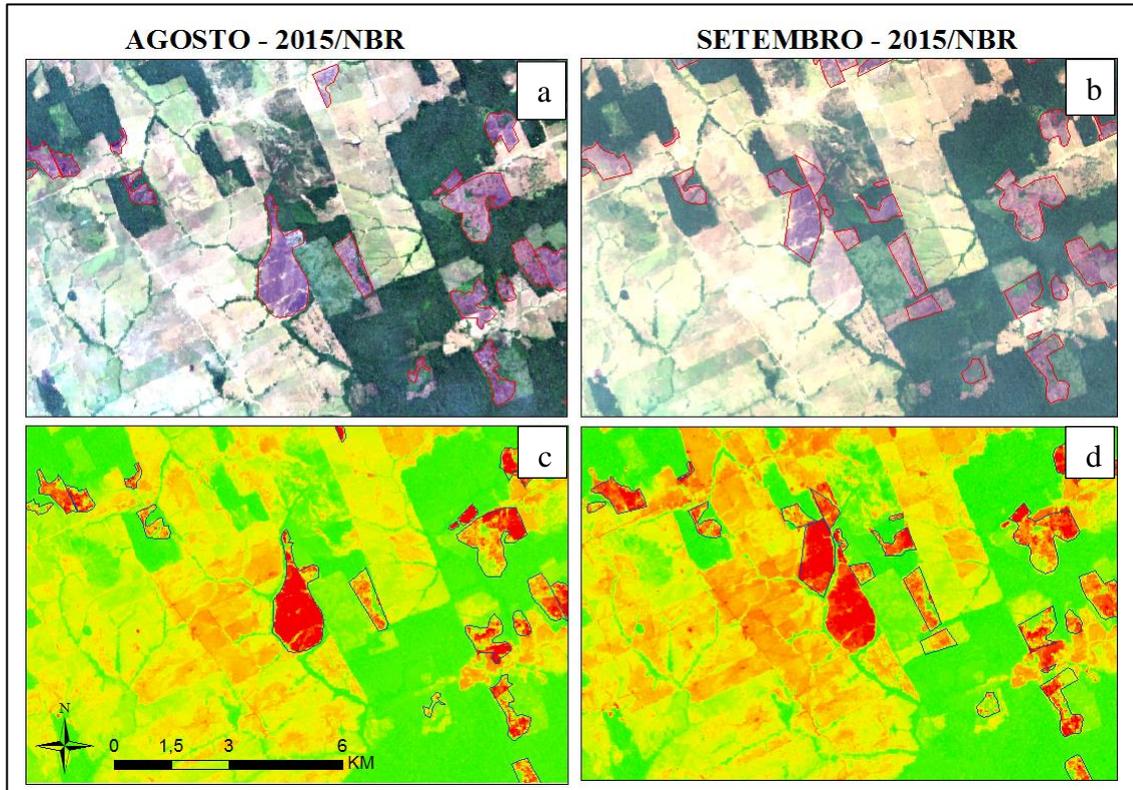


Figura 29. Identificação de queimadas na composição de cores naturais RGB432 e índice de vegetação NBR.

CHUVIECO (1996) utilizou a metodologia de interpretação visual no trabalho de identificação de áreas queimadas, o autor salienta que dados da região do visível e do infravermelho próximo e médio, pode resultar em uma baixa classificação digital, devido à dificuldade de discriminação do alvo e que as áreas queimadas presentes na superfície terrestre podem se apresentarem com características espectrais semelhantes alvo distinto como corpos d'água, sombras de nuvens e o relevo

Diversos trabalhos utilizaram a interpretação de imagens de satélite para mapeamento e quantificação de áreas queimadas (KRUG e SANTOS, 2000; LOMBARDI, 2003).

Em relação aos dois índices utilizados no trabalho (NDVI e NBR) em cenas onde não há problema de aquisição com presença de nuvens e efeitos atmosféricos no momento da passagem do sensor, pode-se nota que o índice NBR distingue melhor as áreas queimadas, possuindo grande similaridade com mapeamento realizado, resultado confirmado por Cardozo et al. (2011).

O emprego de dados de sensoriamento remoto no monitoramento da Floresta Amazônica é bastante importante devido à sua rapidez de obtenção de informações e sua ampla cobertura de área. Mas, os dados de sensores na região ficam sujeitos a uma alta interferência de cobertura de nuvens e aerossóis dificultando o monitoramento dos focos de queimadas, na época de estiagem, onde há a possibilidade de aquisição de imagens com baixa cobertura de nuvens, a intensa atividade de queimadas e consequente liberação de aerossóis dificultam a utilização dos métodos tradicionais de mapeamento baseados nas faixas espectral do vermelho e infravermelho próximo (PEREIRA, 2003; LIBONATI et al., 2010).

No monitoramento da Floresta Amazônica com extensão total de 5,5 milhões de km², torna-se necessário o emprego de dados de sensoriamento remoto devido à sua rapidez de obtenção e ampla cobertura da superfície terrestre. No entanto, os dados de sensores ópticos na região Amazônica ficam sujeitos a uma alta interferência de cobertura de nuvens e aerossóis dificultando o monitoramento dos focos de incêndio e área queimada. Na época de estiagem, onde há possibilidade de aquisição de imagens com baixa cobertura de nuvens, a intensa atividade de queimadas e a consequente liberação de aerossóis dificultam a utilização dos métodos tradicionais de mapeamento baseados na faixa espectral do vermelho e infravermelho próximo (PEREIRA, 2003; LIBONATI et al., 2010; SANTANA, 2016).

Estudo desenvolvido por Santana (2016) avaliou a aplicação de uma metodologia automática para o mapeamento de áreas queimadas na Floresta Amazônica a partir de séries temporais do sensor MODIS utilizando os índices de vegetação NDVI e NBR, por meio da estatística de Kappa dos índices demonstram que possuem menor capacidade de separação de

áreas queimadas, a principal explicação para este resultado deriva da própria criação dos índices, que foram gerados para aplicação de biomas como Florestas Temperadas e Tundras. Isso explica algumas inconsistências na interpretação visual, e que alguns alvos com características diferentes, apresentaram coloração bem próximas, no caso de pastagem e áreas queimadas. Mas como já foi citado, interferência da atmosfera prejudicaram o diagnóstico em imagens orbitais.

5.6 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

Pela composição de bandas do azul, verde e vermelho (RGB-432) foi possível analisar o comportamento espectral correspondendo a área 2 do município de Lábrea, primeira imagem do mês agosto de 2014 e segunda imagem do mês agosto de 2015, na qual se pode observar o avanço do desmatamento na área ao longo

dos anos. Nas imagens foram traçados dois transectos no mesmo local tendo 8 km de extensão, onde foram captados dados de respostas espectral da superfície (Figura 30).

O comportamento espectral da superfície de agosto de 2014, as linhas correspondem as bandas espectrais do sensor OLI, a linha azul corresponde a banda 2 (0,452-0,512 μm), a linha verde a banda 3 (0,533-0,590 μm) e a linha vermelha a banda 4 (0,636-0,673 μm) na região do visível do espectro eletromagnético. Os valores representam reflectância no eixo y e distância do transecto no eixo x (Figura 31).

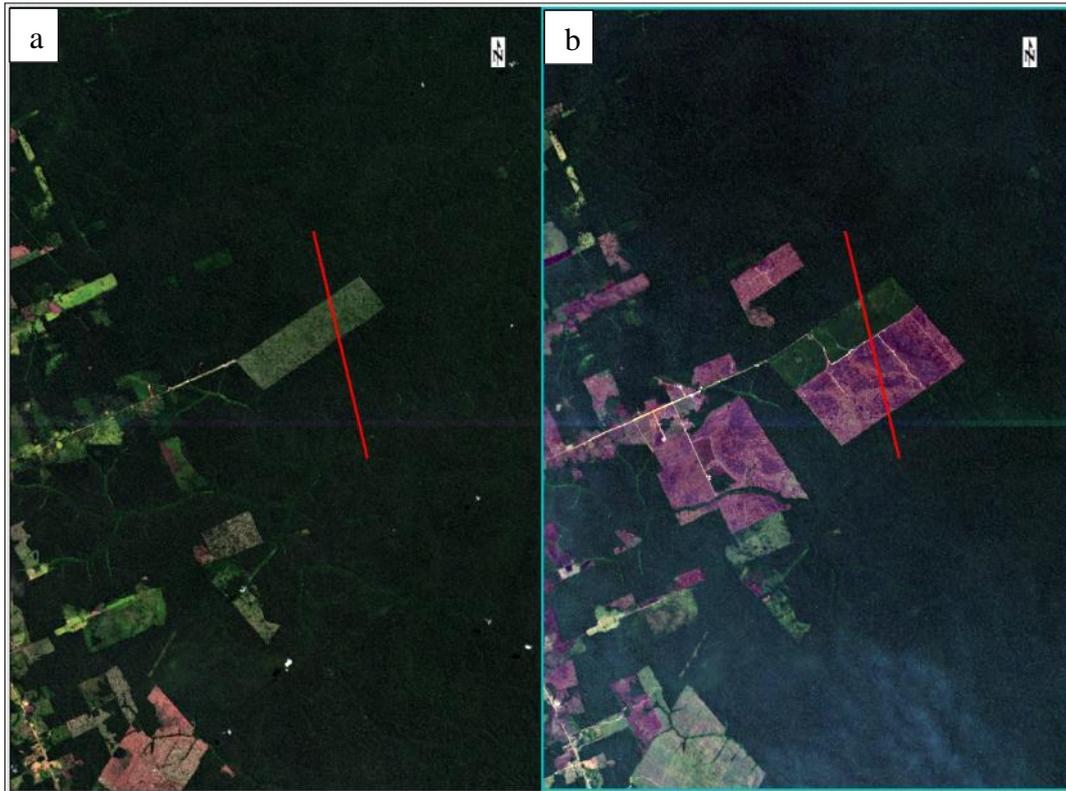


Figura 30. a) Área 2 de agosto de 2014; b) Área 2 de agosto de 2015 (Linha em vermelho corresponde ao Transecto com 8 km).

O transecto se inicia em uma área de floresta e cruza uma área de pastagem e termina na outra margem, outro trecho de floresta. Pode-se notar alteração da reflectância durante o percurso do transecto, os valores de reflectância na área de floresta se mostram baixos nas diferentes bandas. Já os valores de reflectância altera-se no trecho de pastagem passaram a valores alto em todas as bandas, isto reflete que a um aumento na reflectância na área de pastagem comparado à floresta, que reflete menos radiação, pois as folhas das árvores absorvem essas energias nos seus processos fotossintetizante.

Na linha da banda 3, correspondendo a faixa de comprimento de onda do verde, os valores de reflectância estão maiores que as demais. Já a linha da banda 4, correspondendo a faixa de comprimento de onda do vermelho, teve menor reflectância, sendo assim tendo uma maior absorção de energia. A banda 2, correspondendo a faixa de comprimento de onda do azul, que manteve seus os valores entre as duas bandas 3 e 4, possuindo valores de reflectância maiores que banda 4.

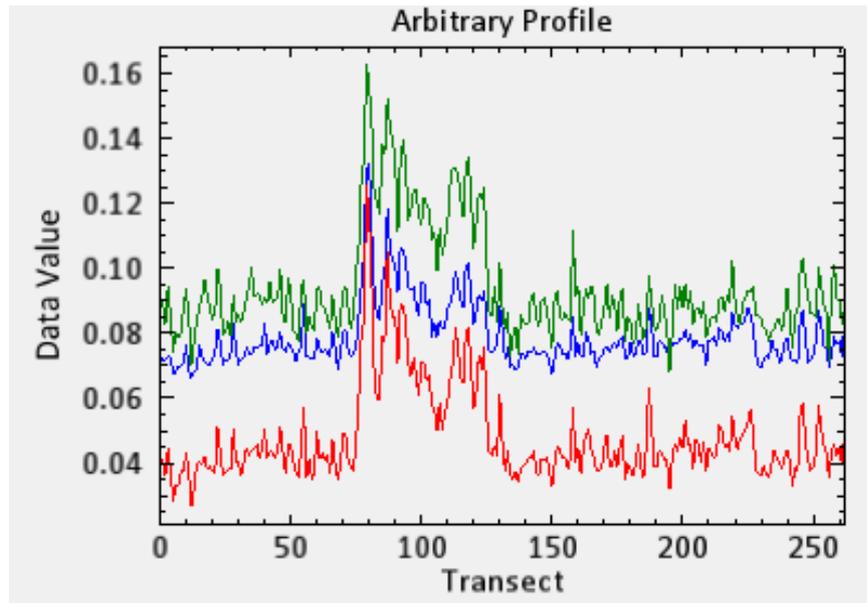


Figura 31. Assinatura espectral da vegetação do transecto, correspondendo faixa do espectro da banda 4 (vermelho), banda 3(verde) e banda 2 (azul) em agosto de 2014.

O comportamento da superfície no mês de agosto de 2015, em relação ao ano anterior, inclui uma área de queimada no trecho do transecto (Figura 32). As linhas se apresentam com o mesmo padrão de reflectância no trecho de floresta, assim como na imagem de 2014, com valores altos de reflectância nas bandas 3 (verde) e 2 (azul) e valores baixos de reflectância na banda 4 (vermelho). No trecho de pastagem os valores se alteram passando a refletir mais energia em todas as bandas. Já no trecho do transecto com vegetação queimada, as linhas de reflectância de bandas se diferenciaram da pastagem e floresta. As áreas afetadas pelo fogo promovem alteração do comportamento do espectro eletromagnético pela remoção ou redução da vegetação resultando na deposição de cinzas e carvão (PESSOA, 2014).

Na linha vermelha houve uma maior resposta de reflectância em relação as demais linhas, com valores maiores que os valores da linha azul e bem próximos aos valores da linha verde. Este fato confirma uma maior sensibilidade da banda 4 a eventos de cicatrizes de queimadas na vegetação, com altos valores de reflectância. Trabalho realizado no Cerrado utilizando dados do sensor *Thematic Mapper* do satélite Landsat 5 analisou a reflectância da vegetação antes e após uma queimada obter resultados parecidos com aumento da reflectância na faixa do vermelho (PEREIRA et al., 2016).

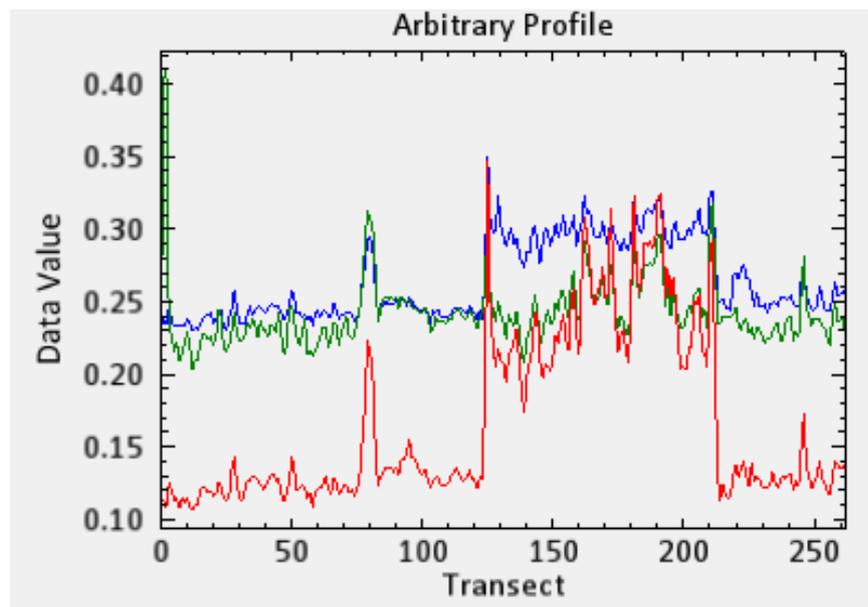


Figura 32. Assinatura espectral da vegetação do transecto, correspondendo faixa do espectro da banda 4 (vermelho), banda 3(verde) e banda 2 (azul) em agosto de 2015.

A radiação solar incidente interage de forma diferente na superfície terrestre, com a vegetação, água e solo, refletindo ou absorvendo radiação eletromagnética em proporções variadas, dependendo das suas características biofísicas e químicas (FLORENZANO, 2013; FIGUEIREDO, 2005). Este fato explica a variação de resposta com mudança da vegetação (floresta) para pastagem com aumento da reflectância, assim como o evento de queima na área estudada que comprovou alteração comportamento espectral da superfície, nitidamente observada faixa do vermelho.

Na região do visível, a vegetação tem um pico de absorção decorrente de forte absorção dos pigmentos do grupo da clorofila. A absorção ocorre de maneira distinta em duas bandas, na faixa do azul devido à presença de carotenos e na faixa do vermelho, relacionada ao processo de fotossíntese. A existência de um pico de reflectância na faixa do verde explica a coloração verde das plantas (FIGUEIREDO, 2005). A vegetação na região do visível apresenta valores de reflectância relativamente baixos, por ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a radiação eletromagnética incidente para a realização da fotossíntese (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

6 CONCLUSÃO

A utilização de imagens de sensor OLI demonstra ser eficiente no mapeamento de áreas queimadas, e as técnicas utilizadas no pré-processamento e pós-processamento resultam em imagens com maior qualidade e nitidez do alvo.

A comparação do número de focos de calor entre os períodos estudados mostrou que a maior quantidade de focos de calor ocorreu em agosto de 2015, e que houve uma diminuição dessa quantidade no mês seguinte. Entretanto, os valores mantiveram-se superiores em relação aos mesmos períodos analisados em 2014.

Por meio dos mapas de densidade espacial dos focos de calor foi possível verificar que houve maior concentração e intensidade das queimadas na região do sul do município de Lábrea, na área próximo à sua sede, e no trecho da rodovia BR-230.

Notou-se elevando aumento da quantidade de focos de calor dentro das Áreas da União (Unidades de Conservação e Projeto de Assentamento). Os focos dentro das unidades de conservação aumentaram em 2015, destacando as áreas PARNA Mapinguari e FLONA Iquiri com maiores quantidades de focos de calor. Nos Projetos de Assentamentos ocorreram a maior concentração dos focos de calor. Isto demonstra que os projetos de assentamento contribuem significativamente com as áreas de queimadas na região sul do município, e que as áreas preservadas no entorno dos assentamentos estão mais vulneráveis ao avanço do desmatamento e eventos de queimadas.

A comparação dos dados de focos de calor com a interpretação das cenas de áreas queimadas (focos observados), demonstrou que os sensores de monitoramento de queimadas apresentam uma imprecisão na localização corretas das efetivas áreas queimadas, devida a sua baixa resolução espacial. Comprovou-se que a utilização de imagens Landsat 8/sensor OLI apresenta grande potencial para análise e interpretação de mudança na vegetação.

A utilização dos índices de vegetação NDVI e NBR foram eficientes na identificação de cicatrizes de queimadas, apesar de alguns problemas relacionados a efeitos da atmosfera dificultarem a interpretação das imagens na composição RGB-432. Contudo, o uso desses índices permite distinguir diferentes alvos mesmo considerando a existência desses problemas. O índice NBR apresentou melhor resultado na diferenciação de áreas queimadas para solo exposto e pastagem, desta forma podendo ser uma importante ferramenta para quantificação de áreas queimadas.

A interpretação e mapeamento não mostraram tanta eficiência na quantificação de áreas queimadas, devido à grande presença de nuvens e efeitos atmosférico dificultando a estimativa das áreas queimadas. Porém, esta metodologia pode ser utilizada para pequenas áreas, com auxílio de índices de vegetação para se ter base mais solidas sobre a diferenciação de áreas.

A comparação do comportamento do espectro eletromagnético antes e depois da queimada, constatou a alteração da reflectância da superfície com diminuição da absorção de energia. As bandas correspondentes a faixa do vermelho e azul distinguiram as áreas queimadas de outras áreas (floresta e pastagem), através do aumento da reflectância.

Eventos como queimadas tem um alto grau de severidade sobre vegetação, causando grande danos ao meio ambiente, sendo muitas vezes irreversíveis, por isso é importante entender o comportamento das queimadas e sua resposta com o uso de sensores remotos, e assim coibir a degradação de novas áreas e intensificar ações de combate às queimadas e incêndios florestais em regiões mais vulneráveis.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDERSON, L.O.; ARAGÃO, L.E.O.C.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.E. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**. vol. 35. p.445-456. 2005.

ALLEN, J.L.; SORBEL, B. **Assessing the differenced Normalized Burn Ratio's ability to map burn severity in the boreal forest and tundra ecosystems of Alaska's national parks**. International. Journal of Wildland Fire. 2008.

BASTARRIKA, A.Y.; CHUVIECO, E. Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes TM y ETM+. **GeoFocus**, Jacupiranga, n. 6. p. 182-204. 2006.

BRAGA, J. V. **Detecção de áreas queimadas através de séries temporais MODIS no intermédio da RPPN Serra do Tambador e o Parque Nacional Chapada dos Veadeiros – GO**. 2013. Monografia (Graduação em Geografia). Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais folhas SB. 20 Purus**. Ed. Fac-similar. vol. 17. Rio de Janeiro. 1978.

CARDOZO, F.S.; MARTINS, F.S.R.V.; PEREIRA, L.O.; SATO, L.Y.; MOURA, Y.M.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E. Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais NDVI e NDBR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. 2015, Curitiba. **Anais...** Curitiba, PR: INPE, 2011. p. 7950-7957.

CAVALCANTE, R.; SILVA, G.Â. **Apostila de Introdução ao SIG**. 2015. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2015.

CARVALHO, M.V. Princípios de combate ao fogo. Disponível em: <http://www.uff.br/ph/artigos/comb_fogo.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

COCHRANE, M.A. O grande incêndio de Roraima. **Ciência Hoje**. Vol. 27 nº 157. 2000.
CALDAS, J.M.; SILVA, F.B.; JUNIOR, C.H.L.S. Análise de focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador utilizando um Sistema de Informações Geográfica – SIG, Estado do Maranhão, Brasil. **Research Gate**. 2014.

CÂMARA, G.; ORTIZ, M.J. Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral. **Divisão de Processamento de Imagens – DPI**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – (INPE). 1997.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D.M.; SOARES, J.V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, SP. 2006.

CENAMO, M.C.; CARRERO, G.C.; SOARES, P.G. **Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+): Estudo de Oportunidade para o Sul do Amazonas**.

Relatório Técnicos. Vol. 1. Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas – IDESAM. Manaus. 2011.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: Goldammer, J.G.(ed.). **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag. Cap. 6, p. 82-105. (Ecological Studies, 84). 1990.

CHUVIECO, E. Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: **Ediciones Rialp**. 1996. p. 568.

DEPRÁ, B.; KUPLICH, T.M.; MOREIRA, A.; BARBIERI, D.W. Identificação de queimadas nos campos de Cima da Serra, Rs, através dos índices NDVI e NBR. In: Simpósio Brasileiro de Geomática, 3. 2012, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente, SP. 2012. p. 199-202.

EXELIS, 2017. **Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)**. Disponível em: <<http://www.exelisvis.com/docs/FLAASH.html>>. Acesso em: 1 de novembro 2017.

FERNANDES, A.C.G.; COUTINHO, M.A.N.; SANTOS, V.G.; NASCIMENTO, C.R. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. **Caderno Ciência Agrária.**, v.8, n.2, p. 30-40. 2016.

FERREIRA, N.C. **Apostila de sistema de informações geográficas**. 2006. Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Goiânia. 2006.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Apostila de Sensoriamento Remoto. 2005.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. **Oficina de textos**. São Paulo. 2008.

FILHO, J. L.; IOCHPE, C. **Introdução a sistemas de informações geográficas com ênfase em bando de dados**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1996.

FLORENZANO, T.G. Iniciação em sensoriamento remoto. **Oficina de Textos**. 3. ed. ampl. e atual. São Paulo. 2011.

GONTIJO, G.A.B.; PEREIRA, A.A.; OLIVEIRA, E.D.S.; JÚNIOR, F.W.A. Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de sensoriamento remoto. 15., 2011, Curitiba. **Anais...**Curitiba, PR: INPE, 2011. p.7966-7973.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Dados de Cidades**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/am/labrea/panorama>>. Acesso em 17 de abril de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Solos do Brasil**. 2010. Disponível em: < <http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos.html>>. Acesso: em 23 de maio de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Solos do Brasil**. 2005. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/vegetacao.html>>. Acesso em 23 de maio de 2017.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - (ICMBio). **Apostila para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Brasília – DF, 2010.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL – (IFRS). **Apostila prevenção e combate a incêndios e primeiros socorros**. Porto alegre, RS. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS (INPE). **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/informacoes/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 21 de abril 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS (INPE). **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/estatistica_estados>. Acesso em: 11 novembro de 2017.

JUSTINO, F.B.; ANDRADE, K.M. Programa de monitoramento de queimadas e prevenção de controle de incêndios florestais no arco do desflorestamento na Amazônia (PROARCO). **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. 1998.

LIBONATI, R.; da CAMARA, C. C.; PEREIRA, J. M. C.; PERES, L. F. Retrieving middle-infrared reflectance for burned area mapping in tropical environments using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 4, n. 15, p. 831-843, 2010.

LOMBARDI, R.J. **Estudo da Recorrência de queimadas e permanências de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do Cerrado Brasileiro, utilizando imagem TM/LANDSAT**. 2003. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, SP. 2003.

KEY, C.H.; BENSON, N.C. Landscape Assessment (LA). In ‘FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System’. (Eds DC Lutes, RE Keane, JF Carati, CH Key, NC Benson, LJ Gangi) **USDA Forest Service**, Rocky Mountains Research Station General Technical Report. 2006.

KRUG, T.; SANTOS, J.R. **Estimativa da área total queimada no cerrado brasileiro em 1999, a partir de dados orbitais**. São José dos Campos: MCT, 2000. (Relatório PNUD BRA/95/G31).

MARTINS, L.N.; BAPTISTA, G.M.M. Análise multitemporal do sequestro florestal de carbono no projeto de assentamento Carão, Acre. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.06, nº06. Brasília – DF. p.1648-1657. 2013.

MARQUES, S. R. **Avaliação das imagens do sensor Landsat 5 TM para determinação de áreas atingidas pelos incêndios florestais e queimadas**. 2009. Dissertação (Mestrado

Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho. 2009.

MENEZES, P.R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília. Brasília. 2012.

MONTEIRO, T.R.R. **Uso dos solos, índices de vegetação e degradação na APA das Onças-PB**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2013.

MORAIS, J. D.; SILVA, R. R.; ROCHA, E. C.O. Análise multitemporal da ocorrência de queimadas no bioma cerrado no período de 2010 a 2013 utilizando tecnologias de geoinformação. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 5. 2014. Recife. **Anais...** Recife, PE. 2014. p.161-169.

PADILHA, D.G. **Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Grande – RS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geomática). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.

PESSOA, O.A.A.; BAPTISTA, G.M.M.; MENESES, T.A.P.R. Monitoramento da reflectância espectral após extinção do foco e uma proposta para a detecção de áreas queimadas em vegetação campestre de cerrado. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, nº67/6, p. 1131-1143. 2015.

PEREIRA, J. M. C. Remote sensing of burned areas in tropical savannas. **International Journal of Wildland Fire**, v. 12, n. 4, p. 259-270, 2003.

PEREIRA, A.A. **Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de Minas Gerais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2009.

PEREIRA, A.A.; TEIXEIRA, F.R.; LIBONATI, R.; MELCHIORI, E.A.; CARVALHO, L.M.T. Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no Cerrado utilizando dados Landsat TM. **Revista Brasileira de Cartografia**. nº68/8. p. 1665-1680. 2016.

PERES, C. A.; SCHNEIDER, M. Subsidized agricultural resettlements as drivers of tropical deforestation. **Biological Conservation**. Brasilia – DF. p.65-68. 2012.

PINTO, A.; SALIMÃO, R.; AMARAL, P.; JUNIOR, C.S.; HAYASHI, S. Transparência Florestal Sul do Amazonas. **Boletim IMAZON**. nº 04. p.1-11. Belém. 2012.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. **Oficina de Textos**. 2. ed. atualizada e ampliada. São Paulo. 2012.

PESSOA, O.A.A. **Evolução temporal do comportamento espectral da área queimada em formação campestre do cerrado**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília. Brasília. 2014.

REMMEL, T. K.; PERERA, A. H. Fire mapping in a northern boreal forest: assessing AVHRR/NDVI methods of changedetection. **Forest Ecology and Management**. Oct. 2001. p.

119-129. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112700005946>>. Acesso em: 15 de novembro 2017.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2013.

ROSAN, T.M.; ALCÂNTARA, E. Detecção de áreas queimadas e severidade a partir do índice espectral NBR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa, PB. **Anais...**João Pessoa: INPE, 2015. p. 0526-0533.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H., SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. “Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS”. In: Proceeding of ERTS-1 Symposium. **Anais...**NASA, United States, n. 3. p. 309-317, 1973.

SANTANA, N. C. **Monitoramento de queimadas no sudoeste do Pará, a partir de séries temporais do sensor MODIS**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de Brasília. Brasília. 2016.

SOUZA, I.M.P.; ALVES, M.V.G. Quantificação da área queimada no estado do Tocantins no período de 2003 a 2011 utilizando imagens do satélite TM/Landsat-5. **Revista Desafios**, v. 03, n. Especial. 2017.

SOUZA, L. S. N. **Análise de impactos das queimadas sobre a Saúde Humana: um estudo de caso de município de Rio Branco – Acre**. 2008. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente). Rio de Janeiro. 2008.

TEOBALDO, D. **Sequestro florestal de carbono e avaliação de resiliência: o caso do incêndio no parque nacional de Brasília em 2010**. 2013. Monografia (Graduação em Ciências Ambientais). Universidade de Brasília. Brasília. 2013.

TOLEDO, M.A.C. **Teoria contra incêndio**. Comando da Aeronáutica. Escola de Especialistas da Aeronáutica. Guaratinguetá, SP. 2011.

TOMZHINSKI, G. W.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. C. **Avaliação da detecção de focos de calor por sensoriamento remoto para o Parque Nacional do Itatiaia**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Biodiversidade Brasileira ano 1, nº2, p.201-211. 2011.

VASCONCELOS, S.S. **Incêndios florestais e queimadas no Amazonas: distribuição, suscetibilidade e emissões de carbono**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais Tropicais). INPA – Instituto Nacional de Pesquisa na Amazônia. Manaus. 2012.

VINAGRE, J. **Detecção de áreas queimadas através de séries temporais MODIS no intermédio da RPPN Serra do Tombador e o Parque Nacional Chapadas do Veadeiros – GO**. 2013. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília. 2013.