



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JORGE ANTONIO MORAES DE SOUZA

**APLICAÇÃO DE FANETS E CA-MARKOV PARA CAPTURA DE IMAGENS PARA
O ESTUDO DE USO E COBERTURA DA TERRA EM PROJETOS DE
ASSENTAMENTOS NA AMAZÔNIA**

TD: 30/2019

BELÉM
2019

JORGE ANTONIO MORAES DE SOUZA

**APLICAÇÃO DE FANETS E CA-MARKOV PARA CAPTURA DE IMAGENS PARA
O ESTUDO DE USO E COBERTURA DA TERRA EM PROJETOS DE
ASSENTAMENTOS NA AMAZÔNIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Tecnológico da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês.

BELÉM

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)**

S719a Souza, Jorge Antonio Moraes de
Aplicação de FANETs e CA-Markov para Captura de
Imagens para o Estudo de Uso e Cobertura da Terra em
Projetos de Assentamentos na Amazônia / Jorge Antonio
Moraes de Souza. — 2019.
88 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia, Universidade
Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Desmatamento. 2. LULC. 3. CA-Markov. 4. Sistema
Fuzzy. 5. FANET. I. Título.

CDD 004.2401519233

**“APLICAÇÃO DE FANETS E CA-MARKOV PARA CAPTURA DE
IMAGENS PARA ESTUDO DE USO E COBERTURA DA TERRA EM
PROJETOS DE ASSENTAMENTOS NA AMAZÔNIA”**

AUTOR: **JORGE ANTÔNIO MORAES DE SOUZA**

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO
JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA
ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM: 06/12/2019

BANCA EXAMINADORA:

Carlos Renato Lisboa Francês

Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês
(Orientador – PPGEE/UFPA)

Jasmine Priscyla Leite de Araújo

Prof.^a Dr.^a Jasmine Priscyla Leite de Araújo
(Avaliadora Interna – PPGEE/UFPA)

Marcelino Silva da Silva

Prof. Dr. Marcelino Silva da Silva
(Avaliador Interno – PPGEE/UFPA)

José Jailton Henrique Ferreira Júnior

Prof. Dr. José Jailton Henrique Ferreira Júnior
(Avaliador Externo ao Programa – CCAST/UFPA)

Tássio Costa de Carvalho

Prof. Dr. Tássio Costa de Carvalho
(Avaliador Externo ao Programa – CCAST/UFPA)

Edvar da Luz Oliveira

Prof. Dr. Edvar da Luz Oliveira
(Avaliador Externo – UFRA)

VISTO:

Prof.^a Dr.^a Maria Emília de Lima Tostes
(Coordenadora do PPGEE/ITEC/UFPA)

Ao Grande Arquiteto do Universo.

Aos meus pais Maria José e Milton (*in memoriam*)

À minha esposa Laura.

Aos meus filhos Gabriel, João, Janaína e Ana Luiza (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

O percurso percorrido, para obter-se o título de doutor, não é nem um pouco fácil, na verdade, é um processo árduo, muitas vezes solitário, de lapidação de uma pedra bruta. É o aparar de arestas não só em termos de conhecimento científico e/ou acadêmico, mas de um profundo autoconhecimento. É saber do que se é feito, até onde se consegue chegar, quais são seus limites físicos e mentais.

Logo, para que se leve a termo uma jornada dessa natureza, com tantos percalços e desafios, é necessário levar na bagagem um ferramental capaz de dar o devido suporte, para transpor barreiras, para levantar após uma queda e curar os machucados.

Esse ferramental é obtido ao longo da vida, por meio de ensinamentos, conselhos, estudos e pelas mãos e ombros de companheiros e companheiras de jornada. Por isso mesmo, mais do que algo protocolar, agradecer é, antes de tudo, o reconhecimento de nossa pequenez diante de um Ser Superior, é admitir que somos falíveis, que possuímos limitações, mas que, com apoio, somos capazes de realizar grandes obras.

Por tudo isso, gostaria de agradecer imensamente ao Grande Arquiteto do Universo, de amor e bondade, por ser a luz que está, ao longo do meu caminho, iluminando meus passos.

Aos seres de luz que intercedem por mim junto ao Pai.

Aos meus pais, Maria José e Milton, que em seus atos, forjaram minha personalidade e caráter, e em suas palavras, deixaram claro, que com esforço, dedicação, respeito ao próximo e amor, poderia chegar onde quisesse. Minha mãe, não tenho nada a fazer senão lhe agradecer por tudo que até hoje me dá, e agradecer a Deus por eu ter sido escolhido para ser seu filho. Meu pai, que pena que você não pode esperar para ver esse dia, mas enquanto esteve aqui, torceu por mim. Espero que esteja orgulhoso de seu filho.

À minha esposa, amiga, companheira, cúmplice, esteio, e todos mais adjetivos que possa usar ou inventar para qualificá-la. Laura, você é aquela pessoa que está comigo para o que der e vier, e eu com você. Poucas pessoas seriam capazes de ver seu marido largando o emprego, de deixar o seu próprio emprego, mudar de cidade,

com filho pequeno, para que eu pudesse cursar o doutorado. Não existe maior prova de amor. Gratidão e amor sempre por você.

Aos meus filhos, Gabriel, que se tornou um homem de muito valor, e que foi o motivo de uma das maiores alegrias de minha vida, quando soube que seria pai pela primeira vez; Ana Luiza, nossa estrelinha, que no pouco tempo que tivemos o prazer de sua presença, nos ensinou tanto sobre a vida; João, meu artista, que com suas caras e bocas, nos transmite um amor e uma alegria que só as crianças conseguem, e que aquece nossos corações; e Janaína, minha bebê, que veio completar nossa felicidade e, por em teste, nossa capacidade de recomeçar. Seu sorriso, com suas covinhas, é meu companheiro dessas madrugadas.

Minhas tias Lea, Lúcia, Ruth, Marileia, Mariluce, Maricilda, Ana e Willza, cada uma de seu jeito, colocaram um tijolo na minha construção. Não poderia deixar de fazer uma menção especial à tia Célia, incentivadora incondicional, que em todos os momentos bons e não tão bons, sempre esteve ao meu lado e de minha família, ajudando da forma que fosse possível, a deixar o caminho mais fácil para caminhar. Muito obrigado, tia.

Meus tios Levi, Guilherme, Moisés e Moacir, parceiros de conversas e de ensinamentos.

Aos meus primos e primas pelas risadas que não consigo controlar, principalmente com os causos contatados, com maestria, pelo Júnior. Aninha, prima-irmã e comadre, “tamo junto”. Meu primo afilhado Gabriel Yuri, conte comigo.

Aos meus sogros Lourival e Izabel e aos meus cunhados e cunhadas, Lorena e Rubinho e Lorane e Jefferson e aos sobrinhos Larissa e Miguel e aos afilhados Rafael e Pedro, um grande abraço a todos.

Aos amigos e amigas Júnior, Carlinhos, Rafael, Cibele, Gisele, Gisele Carvalho, Janisse, Nelsinho, Lana, Raphael, Wagner, Inez, Thays e Lyanny.

Ao meu amigo, irmão mais velho, por vezes pai, e, nas horas vagas, orientador de doutorado, Renato Francês. O que a lonjura de casa, madrugadas sem fim, ócio criativo e a vontade de se expressar em textos, poesias e música, não fazem na vida de uma pessoa. Os Alquimistas foram um divisor de águas pra mim, menos pela arte produzida (que era muito boa), mais, muito mais, pela amizade construída. Obrigado pela paciência, pelos ouvidos a escutar crises existenciais imensas, pelas palavras de conforto e chamadas de atenção. Agora estreitando mais ainda os laços, obrigado meu compadre.

Ao João Weyl, que me trouxe de volta para Belém e me deu a oportunidade de ingressar no doutorado. Obrigado pelos ensinamentos e pelo privilégio de ter convivido contigo, uma pessoa que, ao mesmo tempo consegue ser brilhante e extremamente humilde, que me mostrou, na prática, que é possível utilizar a tecnologia em prol da cidadania, que tem um cuidado com a coisa pública e uma responsabilidade social tamanhos. Obrigado.

Aos amigos de LPRAD, que não arriscarei listar o nome de todos, mas que naqueles que vou citar, agradeço a todos pelo apoio, pelas pizzas e pelo aprendizado. Alex, Diego, Seruffo, Ádamo, Jacob, Carlos e Liviane, como é bom acompanhar a trajetória de vocês, ver os profissionais que vocês se tornaram. Marcelino, Edvar (meu compadre), Jailton, Tássio e Jasmine, o que falar de vocês? Pessoas que transcendem o ato de ensinar, de pesquisar, e enxergam para além disso, enxergam o ser humano envolvido nessas relações. Gratidão eterna. Delsinho, selva!

Às minhas parceiras de UFRA Larissa, Aleka, Silvana e Sabrina, que junto comigo e o Edvar, formamos o G6, para lancharmos e almoçarmos juntos, com o pretexto de conversar sobre os rumos de nossa Universidade.

Aos professores e amigos Gervásio, Pelaes, Vijay, Solon e Segatto, muito obrigado.

Aos Ilr.'. de minha Loja Harmonia Padre Eutíquio No. 29, estarei sempre de P.'. e a O.'. para o que precisarem.

À Universidade Federal do Pará e ao PPGEE, por me proporcionarem a oportunidade de estudar numa das maiores Universidades do Brasil.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, por ter me liberado para esta qualificação profissional.

À CAPES por ter financiado essa pesquisa.

E a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram nesta jornada.

RESUMO

Projetos de assentamentos de reforma agrária são uma das medidas adotadas pelo governo na tentativa de criar um relacionamento sustentável com a natureza. Como a área de assentamentos cobre mais de 77.483.317,86 hectares da Amazônia Legal, é essencial compreender as causas da degradação ambiental desses espaços. Isto posto, foram utilizados, de forma combinada, cadeias de Markov e autômatos celulares (CA-Markov) para, a partir de duas imagens classificadas, prever cenários de mudanças no uso e cobertura da terra (LULC). Esta tese apresenta uma metodologia inovadora que difere daquelas usualmente utilizadas em CA-Markov, pois os aspectos de tempo e espaço são observados pela cadeia de Markov e servem como base para a função de transição do autômato celular (CA). A metodologia também contempla a aquisição de imagens, nesse sentido, como a região de interesse permanece, em boa parte do ano, com uma cobertura de nuvens significativa, a obtenção de imagens por sensores ópticos, fica prejudicada, por conta disso, foi imperativa a busca por uma alternativa. As Flying Ad-hoc Networks (FANETs) podem ser utilizadas para complementar informações da região de estudo, capturando imagens de alta qualidade, sem o inconveniente das nuvens. Por outro lado, os nós da rede precisam manter, pelo maior tempo possível, a conexão entre eles, o que é dificultado pela mobilidade e autonomia de voo dos drones. Por esse motivo, é imprescindível a utilização de um protocolo de roteamento que seja capaz de adaptar-se à dinâmica da rede. Além disso, também foi desenvolvido um algoritmo de roteamento baseado em sistema Fuzzy. Testes e simulações foram realizadas com o intuito de validar tanto a metodologia geral MAPS, quanto o protocolo de roteamento.

Palavras-chave: Desmatamento, LULC, CA-Markov, sistema Fuzzy, protocolo de roteamento, FANET.

ABSTRACT

Settlement projects of land reform are one of the measures taken by the government in its attempt to create a sustainable relationship with nature. As the settlement area covers more than 77,483,317.86 hectares of the Legal Amazon, it is essential to understand the causes of the environmental degradation of these spaces. Thus, Markov chains and cellular automata (CA-Markov) were used to predict scenarios of land-use and cover changes (LULC) from two classified images. This thesis presents an innovative methodology that differs from those commonly used in CA-Markov, as the time and space aspects are observed by the Markov chain and serve as the basis for the cellular automata (CA) transition function. The methodology also includes the acquisition of images, in this sense, as the region of interest remains, for a significant part of the year, with cloud cover, optical sensor imaging is hampered, so the search for an alternative was imperative. Flying Ad-hoc Networks (FANETs) can be used to complement study region information by capturing high-quality images without the inconvenience of clouds. On the other hand, network nodes need to maintain the connection between them as long as possible, which is hampered by the drones' mobility and flight autonomy. For this reason, it is essential to use a routing protocol that can adapt to the dynamics of the network. Besides, a Fuzzy system-based routing protocol was also developed. Tests and simulations were performed to validate both the general methodology called MAPS and the routing protocol.

Keywords: *Deforestation, LULC, CA-Markov, Fuzzy Systems, routing protocol, FANET.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de interação entre o sol (emissor) e o sensor (receptor)	20
Figura 2 – Plataformas de sensoriamento remoto.....	23
Figura 3 – <i>Sidelap</i>	25
Figura 4 – <i>Overlap</i>	25
Figura 5 – (a) e (b) vizinhança de von Neumann e (c) e (d) de vizinhança de Moore	31
Figura 6 – Estrutura básica de um sistema Fuzzy.....	35
Figura 7 – Representação esquemática da estratégia	48
Figura 8 – Diagrama esquemático da MAPS	50
Figura 9 – Saída do Sistema Fuzzy	54
Figura 10 – Representação esquemática do algoritmo de roteamento proposto	57
Figura 11 – Sistema de inferência Fuzzy	57
Figura 12 – Pseudocódigo do Autômato Celular	60
Figura 13 – Imagens de Entrada	64
Figura 14 – Vazão ao longo do tempo	67
Figura 15 – Vazão média	67
Figura 16 – Valores do PSNR	68
Figura 17 – Valores de SSIM	69
Figura 18 – Valores de VQM.....	70
Figura 19 – Quadro recebido pelo OLSR	70
Figura 20 – Quadro recebido pelo AODV.....	71
Figura 21 – Quadro recebido pelo Protocolo de roteamento baseado em sistema Fuzzy.....	71
Figura 22 – Evolução das Áreas de Floresta e Pasto previstas pelo CA-Markov.....	73
Figura 23 – Mapa de Aptidão Agrícola e do Uso da Terra na Região de Estudo	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Erro relativo entre os valores reais e os previstos	66
Tabela 2 – Valores previstos para as áreas de assentamentos, dentro da área de estudo	72
Tabela 3 – Total de emissões projetadas para Amazônia Legal em 2020	75
Tabela 4 – Emissões de CO ₂ e entre 2012 e 2020	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das características dos trabalhos correlatos.	43
Quadro 2 – Sistema Fuzzy baseado em regras.	55
Quadro 3 – Regras Adotadas.	56
Quadro 4 – Parâmetros de simulação do NS-2.	63
Quadro 5 – Matriz de probabilidade de transição (P)	65

LISTA DE ABREVIATURAS

Todas as siglas usadas nesta proposta de tese são definidas quando aparecem no texto pela primeira vez. Para a conveniência do leitor, esta seção contém apenas os principais significados das siglas comumente usadas.

AODV	<i>Ad-hoc On-Distance Vector</i>
CA	Cellular Automata
CMTD	Cadeias de Markov a Tempo Discreto
FANET	<i>Flying Ad-Hoc Network</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
LULC	<i>Land/Use Land/Cover</i>
MANET	<i>Mobile Ad-Hoc Network</i>
OLSR	<i>Optimized Link State Routing</i>
PA	<i>Projetos de Assentamentos</i>
PSNR	<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i>
QoE	<i>Quality of Experience</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
SINR	<i>Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio</i>
SSIM	<i>Structural Similarity</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
VANET	<i>Vehicular Ad-Hoc Networks</i>
VQM	<i>Video Quality Measurement</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Motivação e caracterização do problema.....	14
1.2 Objetivos	17
1.3 Organização do trabalho.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 Considerações iniciais.....	19
2.2 Sensoriamento remoto.....	19
2.2.1 Sistemas de Sensores.....	21
2.2.2 Plataformas de Sensoriamento Remoto	23
2.2.2.1 Plataforma Orbital	23
2.2.2.2 Plataforma Aérea	24
2.2.2.3 Plataforma Terrestre	26
2.2.3 Resoluções	26
2.2.4 <i>Flying Ad-Hoc Network</i> - FANET	27
2.2.4.1 Desafios para FANETs.....	28
2.3 Autômatos celulares	29
2.4 Cadeias de Markov a tempo discreto	31
2.5 Sistemas Fuzzy	33
2.5.1 Conjuntos Fuzzy	33
2.5.1.1 Função de Pertinência Gaussiana	34
2.5.1.2 Função de Pertinência Trapezoidal	34
2.5.2 Sistema de Controle Fuzzy.....	35
2.5.2.1 Fuzzyficação e Defuzzyficação.....	35
2.6 Considerações finais.....	36
3 TRABALHOS CORRELATOS.....	37
3.1 Considerações iniciais.....	37
3.2 Classificação e previsão baseadas em imagens.....	37
3.3 Cobertura de nuvens e a qualidade da imagem	39
3.4 Roteamento em FANET.....	41
3.5 Considerações finais.....	45
4 MAPS: METHOD FOR ASSESSING PROJECTS OF SETTLEMENT	47
4.1 Considerações iniciais.....	47
4.2 PRÓ-AMAZÔNIA: biodiversidade e sustentabilidade.....	47

4.3 Methodology for Assessing Projects of Settlement - MAPS	49
4.3.1 Aquisição das Imagens.....	50
4.3.1.1 Uso de FANETs	51
4.3.1.2 Protocolo de Roteamento Baseado em Sistema Fuzzy	53
4.3.2 Tratamento e Classificação das Imagens.....	58
4.3.3 Seleção de imagens de entrada	58
4.3.4 Geração das Matrizes de Pixels	58
4.3.5 Geração da Matriz de Probabilidade de Transição da Cadeia de Markov Modificada	58
4.3.6 Aplicação do CA-Markov	59
4.3.7 Áreas previstas pelo CA-Markov	60
4.4 Considerações finais	61
5 ESTUDO DE CASO	62
5.1 Considerações iniciais	62
5.1.1 Algoritmo de roteamento proposto.....	62
5.1.2 Uso do CA-Markov	63
5.2 Resultados e discussões	66
5.2.1 Protocolo de roteamento proposto.....	66
5.2.2 Uso do CA-Markov	72
5.3 Considerações finais	76
6 CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	77
6.1 Conclusões	77
6.2 Contribuições da tese	78
6.3 Trabalhos futuros	80
REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e caracterização do problema

A região amazônica brasileira tem sido vítima de constantes agressões ao longo dos anos, tendo como um dos marcos de tais agressões, a política de colonização da Amazônia implementada pelo governo militar, que visou ao incentivo a grandes projetos madeireiros, de extração mineral, pecuária extensiva, e de colonização, tanto privados quanto públicos (CONGILIO; IKEDA, 2014).

Os projetos de colonização, mais do que promover a reforma agrária, tinham como pano de fundo o objetivo de minimizar os conflitos agrários que estavam em curso em outras regiões do país, como o Nordeste, oferecendo terra na Amazônia para quem não tinha. Por outro lado, o que se verificou foram os incentivos a grupos econômicos do Centro-Sul para atuarem na Amazônia, fazendo com que se perenizasse a concentração de terras nas mãos de poucos grupos privados, principalmente para criação de gado bovino (CONGILIO; IKEDA, 2014). Durante o curso deste movimento, houve vários casos de sucesso e fracassos entre as famílias assentadas (BATISTELLA; BRONDIZIO, 2001).

Atualmente, na Amazônia Legal, existem 3.518 projetos de assentamentos da reforma agrária, compreendendo 625.655 famílias em 76.958.858,68 hectares de terra, o que totaliza 37,5% do total de projetos de assentamentos (PA) no Brasil (INCRA, 2019). É importante frisar que apesar da quantidade de PAs ser um pouco maior que 1/3 do total, a área utilizada é de 87,5% da área total de assentamentos, o que denota a importância do estudo dessa forma de apropriação da terra.

Apenas no período compreendido entre agosto de 2014 e julho de 2015, 5.831 km² de floresta da Amazônia Legal foram desmatados. Dessa área, 26,55% consistiam de terras pertencentes aos habitantes das áreas de assentamentos (VERDÉLIO, 2015). Em 2012, 18,7% das emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) no Brasil foram originadas de usos da terra e floresta. Entre 1990 e 2012, foram emitidos 14.515,73 TgCO₂ (milhões de toneladas de dióxido de carbono), somente no bioma Amazônia. No mesmo período, 6.328,97 TgCO₂ foram emitidos no Estado do Pará

(MCTI, 2014). Em 2019, até a escrita deste documento, o desmatamento na Amazônia Legal foi de 9.762Km², sendo que o Pará contribuiu com 3.862Km², ou seja, 39,56% (PRODES, 2019).

É sabido que a Amazônia é um dos biomas mais complexos e diversificados do planeta e que seu nível de preservação ambiental possui impacto de âmbito global. Entretanto, além dos aspectos ambientais, a complexidade da região envolve outros diferentes pontos de vista: social, econômico e cultural. De fato, estes estão intrinsecamente interligados, por exemplo, aspectos culturais podem contribuir para mudanças no uso e a cobertura da terra. Em se tratando de Amazônia, dependendo da escala dessas mudanças, pode implicar consequências planetárias.

A taxa de desmatamento na Amazônia legal continua alarmante (6.207 km² em 2015; 7.893 km² em 2016; 6.947km² em 2017 e 7.536km² em 2018) (PRODES, 2019) e a contribuição dos projetos de assentamentos no contexto da reforma agrária é controversa. Diante disso, um aspecto que deve ser analisado é o da expansão da pecuária no âmbito dos PAs e da própria Amazônia como um todo, como discutido na literatura especializada. De acordo com (FEARNSIDE, 2001), o processo de assentamento leva ao desmatamento, mesmo quando as famílias são assentadas em áreas já antropizadas, dominadas principalmente por pastagens.

De acordo com (JUSYS, 2016), a abertura da economia torna a pecuária mais lucrativa, levando a exercer uma certa pressão sobre a floresta. Quanto maior a demanda do mercado por carne e seus derivados, maior a necessidade de áreas para pastagem, ou seja, mais desmatamento. Faria e Nunes (2016) relacionaram o comércio internacional ao desmatamento da Amazônia. O estudo mostrou que o desmatamento se deveu à pecuária e ao plantio de soja, incentivados pela demanda do mercado por essas atividades econômicas.

Por exemplo, durante o período de 2000 a 2012, os projetos de assentamentos contribuíram com 27% do total de desmatamento no Estado do Pará (BRANDÃO *et al.*, 2013). Independentemente da avaliação dos efeitos dos assentamentos sobre o desmatamento (HURTIENNE, 2005) e sua contribuição para o balanço de carbono (COSTA, 2009) na Amazônia brasileira, é preciso considerar seriamente a relevância dos assentamentos, além de, com um mesmo nível de importância, uma interpretação

relevante das tendências, causas da mudança no uso e cobertura da terra e sua ocupação.

Vários modelos para o estudo do uso e cobertura da terra foram sugeridos na literatura. Briassoulis (1999) sugere cinco categorias principais de modelos: (a) modelos estatísticos e econométricos; (b) modelos de interação espacial; (c) modelos de otimização; (d) modelos integrados e (e) outras abordagens de modelagem (por exemplo, modelagem de mudanças no uso da terra utilizando cadeias de Markov e modelagem baseadas em GIS).

Na literatura especializada pesquisada, em relação às mudanças no uso e cobertura da terra, considerando apenas a Amazônia, e tomando por base a classificação proposta por Briassoulis, 60,38% utilizaram modelos estatísticos e econométricos, 11,32% modelos de interação espacial, 1,89% de otimização, 7,55% modelos integrados e 18,86% para outras abordagens destes, apenas 3,77% sugerem Markov.

Diante do exposto, esta tese apresenta uma metodologia inovadora para a predição de cenários de uso e cobertura da terra, utilizando duas imagens classificadas, chamado MAPS – *Method for Assessing Projects of Settlement*, que tem como base o uso conjunto de cadeias de Markov e autômatos celulares, CA-Markov, em que os aspectos temporais e espaciais são observados pela cadeia de Markov que por sua vez, torna-se a base para a função de transição do autômato celular. Assim, é minimizada a subjetividade inerente às regras de transição do autômato, que são definidas, via de regra, empiricamente por um especialista de domínio. A metodologia está dividida em etapas, sendo duas delas: a) geração da cadeia de Markov a partir de duas imagens classificadas de satélite ou aéreas, de dois anos diferentes, utilizando para o cálculo das probabilidades de transição, informações da vizinhança dos pixels, permitindo que a característica espacial também seja considerada; b) execução do CA com a função de probabilidade de transição fornecida pela cadeia de Markov.

Além das etapas mencionadas anteriormente, a metodologia abrange a obtenção das imagens e, nesse contexto, verificou-se que utilização de imagens de satélite (o mais habitual) para a realização deste estudo, pode ser comprometida devido à

cobertura de nuvens a que a região de interesse está sujeita, já que se trata de uma área de clima tropical úmido (ARAI *et al.*, 2015).

Portanto, a fim de minimizar os efeitos da cobertura de nuvens e complementar as imagens de satélite, adotou-se a utilização de drones para realizar a captura de imagens aéreas. Nesse sentido, as redes ad-hoc aéreas, as chamadas FANETs (Flying Ad-Hoc Networks) possuem grande potencial para monitoramento ambiental, bastando para isso, resolver algumas questões de cunho tecnológico.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta tese é a proposição de uma metodologia fim a fim que, utilizando FANETs e CA-Markov, seja capaz de realizar previsões acerca das mudanças no uso e cobertura da terra em projetos de assentamentos da reforma agrária, na Amazônia.

De forma mais específica, esta tese apresenta os seguintes objetivos:

- Desenvolver um algoritmo que, a partir de duas imagens classificadas, gere, de forma automática, as matrizes de pixels e a matriz de probabilidade de transição de Markov;
- Propor uma forma inovadora para utilização de informações espaciais (vizinhança) na matriz de probabilidade de transição de Markov;
- Desenvolver uma solução utilizando autômatos celulares e cadeias de Markov para a previsão de mudança de uso e cobertura da terra;
- Propor um algoritmo de roteamento específico para FANETs, baseado em sistema Fuzzy;
- Realizar a avaliação *cross-layer* do algoritmo de roteamento proposto, envolvendo as camadas de rede e aplicação, por meio de métricas de QoS e QoE;
- Apresentar um estudo de caso, com o intuito de demonstrar a usabilidade da metodologia proposta.

Notadamente, a hipótese é que a partir de duas imagens classificadas de anos diferentes, sendo as mesmas de satélite ou aéreas, utilizando autômatos celulares e

cadeias de Markov, seja possível prever mudanças no uso e cobertura da terra em projetos de assentamento na Amazônia.

1.3 Organização do trabalho

Estruturalmente, este trabalho é composto, além deste capítulo introdutório, por um capítulo de revisão bibliográfica, um capítulo onde são expostos os trabalhos correlatos a esta tese, um capítulo demonstrando o método objeto desta tese, um capítulo apresentando o estudo de caso realizado e, por fim, um capítulo com as conclusões, contribuições e desdobramentos da pesquisa em trabalhos futuros. Os próximos parágrafos apresentam uma síntese dos capítulos supracitados.

No Capítulo 2, é apresentado o referencial teórico que norteará esta tese.

Os trabalhos recentes e mais relevantes relacionados ao roteamento em redes ad-hoc aéreas e, por conseguinte, correlatos a esta tese, são apresentados no Capítulo 3.

No Capítulo 4, é apresentada uma metodologia fim a fim, para análise de mudanças no uso e cobertura da terra.

O estudo de caso elaborado para demonstrar a aplicabilidade da metodologia proposta é apresentado no Capítulo 5, no qual os resultados são avaliados.

Esta tese finaliza com o Capítulo 6, onde discorre-se acerca das conclusões, principais contribuições e trabalhos futuros gerados a partir desta pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo descreve, primeiramente, alguns conceitos sobre sensoriamento remoto para monitoramento ambiental; em seguida, aborda sucintamente Autômatos Celulares e Cadeias de Markov e, por fim, realiza uma breve introdução sobre sistemas Fuzzy, técnica também utilizada nesta tese, com o intuito de auxiliar na tomada de decisão do protocolo de roteamento proposto.

Nesta tese, pelo seu caráter notadamente interdisciplinar, não se pretende esgotar a discussão sobre determinados temas abordados. Para aprofundamento nos mesmos, sugere-se consultar as referências contidas em cada respectiva seção. Portanto, acerca de determinados assuntos, pelas especificidades descritas, há descrições *en passant*, mas sempre apontando para referências na literatura.

2.2 Sensoriamento remoto

O monitoramento ambiental é o processo de coleta, estudo e acompanhamento sistemáticos de variáveis ambientais, com o objetivo de estabelecer o padrão dos componentes de um ecossistema e detectar mudanças ao longo do tempo. (RAMOS; LUCHIARI, 2016)

Por meio do histórico deste monitoramento, é possível avaliar a situação atual da região em estudo e, a partir disso, realizar projeções de possíveis mudanças no futuro. (RAMOS; LUCHIARI, 2016)

Algumas técnicas podem ser utilizadas para realizar este monitoramento, como sensoriamento remoto e trabalho de campo. Esta seção abordará o sensoriamento remoto de acordo com a plataforma utilizada.

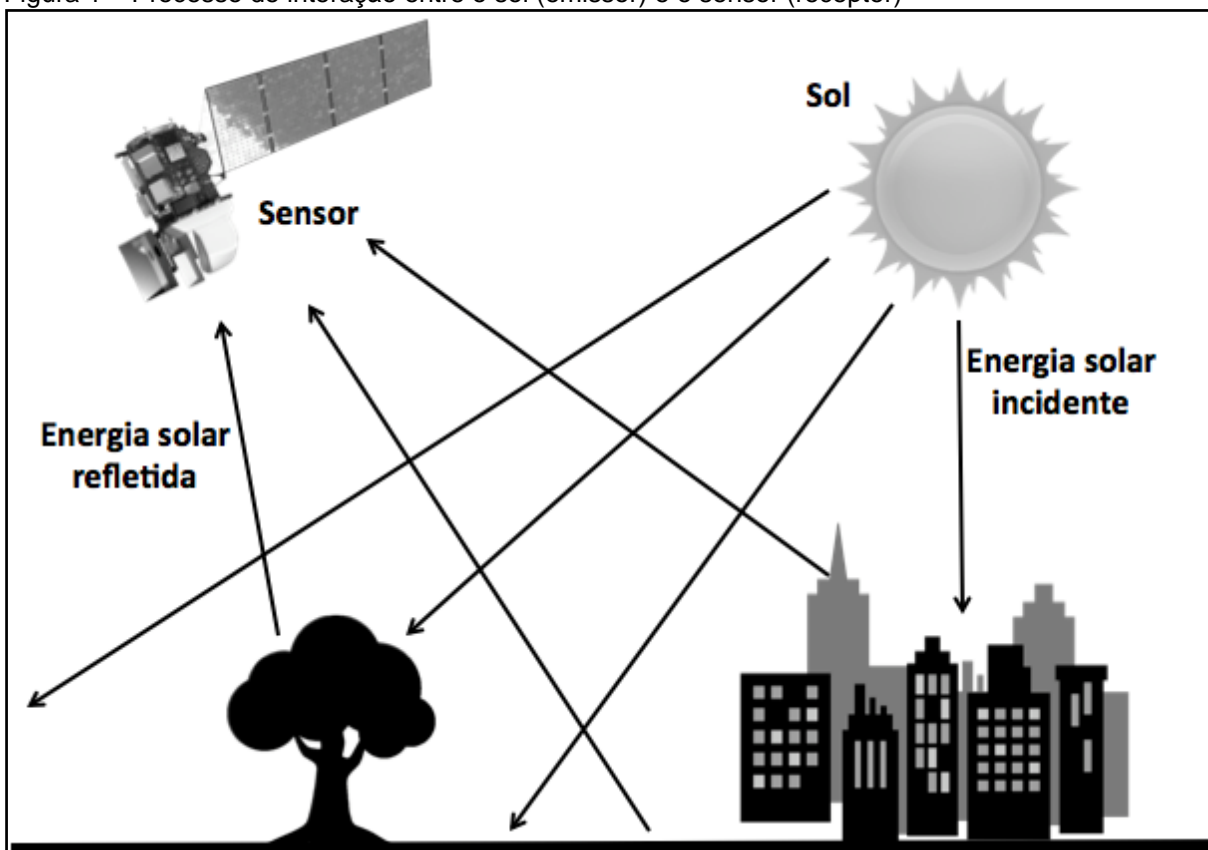
O meio ambiente pode ser modificado em decorrência de causas naturais, como terremotos e queimadas espontâneas, mas, ao longo dos anos, as causas antropogênicas têm gerado profundas mudanças no que tange ao uso e cobertura da

terra, acarretando impactos ambientais diversos, como o aquecimento global. Por conta disso, o estudo da dinâmica do uso, cobertura e ocupação da terra torna-se imprescindível para o controle dos impactos no meio ambiente e para a gestão dos recursos naturais.

Diante desse contexto, o uso de sensoriamento remoto figura como uma ferramenta fundamental, já que permite a observação de grandes áreas, inclusive aquelas mais remotas e de difícil acesso, o que seria bem mais difícil e dispendioso se fosse feito *in loco*. (FLORENZANO, 2011)

Segundo (INPE, 2006a), o sensoriamento remoto corresponde a um conjunto de atividades, cujo objetivo principal reside na caracterização das propriedades de alvos naturais e artificiais, por meio da detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante, por eles refletido ou emitido, coletando, assim, informações de uma determinada área sem a necessidade do contato direto com a mesma, como apresentado na Figura 1. Assim, a partir da energia solar refletida, é possível determinar, por exemplo, diferentes construções ou tipos de vegetação.

Figura 1 – Processo de interação entre o sol (emissor) e o sensor (receptor)



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

2.2.1 Sistemas de Sensores

Realizar o reconhecimento da superfície da Terra de maneira rápida e confiável é a tarefa mais importante para o sucesso do levantamento da dinâmica do uso e cobertura da terra. Para que isso ocorra, via de regra, são utilizados sistemas sensores para obtenção de dados resultantes da reflexão e/ou emissão da radiação eletromagnética pelos alvos da superfície que se pretende estudar (NOVO, 2008).

De acordo com Novo (2008) e Rocha (2000), os sistemas sensores são responsáveis pela conversão da energia dos objetos em um produto passível de interpretação, seja na forma de imagens, gráficos ou tabelas. Os sensores são capazes de identificar essa energia em forma de radiação eletromagnética em determinadas faixas de espectro e, a partir de sua frequência, intensidade e polarização, e de transformá-las em informações. Sendo assim, o sistema de aquisição de dados por sensoriamento remoto é formado por uma fonte de energia eletromagnética, por um sensor que transforma a energia proveniente do alvo em sinal e por um analisador que transforma este sinal em informação. Com o desenvolvimento tecnológico, é possível medir, com razoável precisão e de forma remota, as propriedades espectrais desses alvos.

Um sistema sensor é basicamente formado por três componentes principais: o coletor, o detetor e o processador. O primeiro é um componente óptico responsável por concentrar o fluxo de energia proveniente do detetor. O detetor corresponde a um componente de dimensões pequenas, feito de um material com propriedades elétricas, que produz um sinal elétrico de acordo com a variação do fluxo de energia que o mesmo absorve. O processador é responsável pela amplificação e digitalização dos sinais gerados pelo detetor (MORAES, 2002).

De acordo com (MOREIRA, 2001; NOVO, 2008; LILLESAND; KIEFER, 1994), existem muitas formas de classificar os sistemas de sensores, levando em conta as diferentes características que estes apresentam, sendo que as mais comuns consideram três aspectos: a fonte de radiação, o princípio de funcionamento e o tipo de produto gerado.

- Sensores passivos: não possuem fonte própria de energia eletromagnética, detectam a radiação solar ou a radiação emitida pelos objetos da superfície, ou seja,

dependem de uma fonte externa para operar. Exemplo: sensor fotográfico, espectrômetros e radiômetros.

- Sensores ativos: possuem uma fonte própria de energia eletromagnética. Eles emitem energia eletromagnética para os objetos terrestres a serem imageados e detectam parte desta energia que é refletida por estes na direção destes sensores. Exemplo: sensores de radar e a laser.

Quanto ao princípio de funcionamento, os sistemas sensores são agrupados em duas categorias: de varredura (*scanning*) e de não-varredura (*non scanning*).

- Não-varredura (*non scanning*): registram a radiação refletida de uma área da superfície terrestre em sua totalidade, num mesmo instante. Por essa razão também são conhecidos como sensores de quadro (*framing systems*). Os dados de radiação coletados por esses sensores podem ser expressos em duas formas: imagem (por exemplo, sistemas fotográficos) e não-imagem (gráfica ou numérica, por exemplo, radiômetros).

- Varredura (*scanning*): a imagem da cena é formada pela aquisição sequencial de imagens elementares do terreno ou “elementos de resolução”, também chamados pixels.

O último aspecto é quanto ao tipo de produto, no qual procura-se distinguir o processo de registro da radiação por meio da forma que esse produto é gerado. Os sensores são classificados em duas categorias: fotográficos e não-fotográficos.

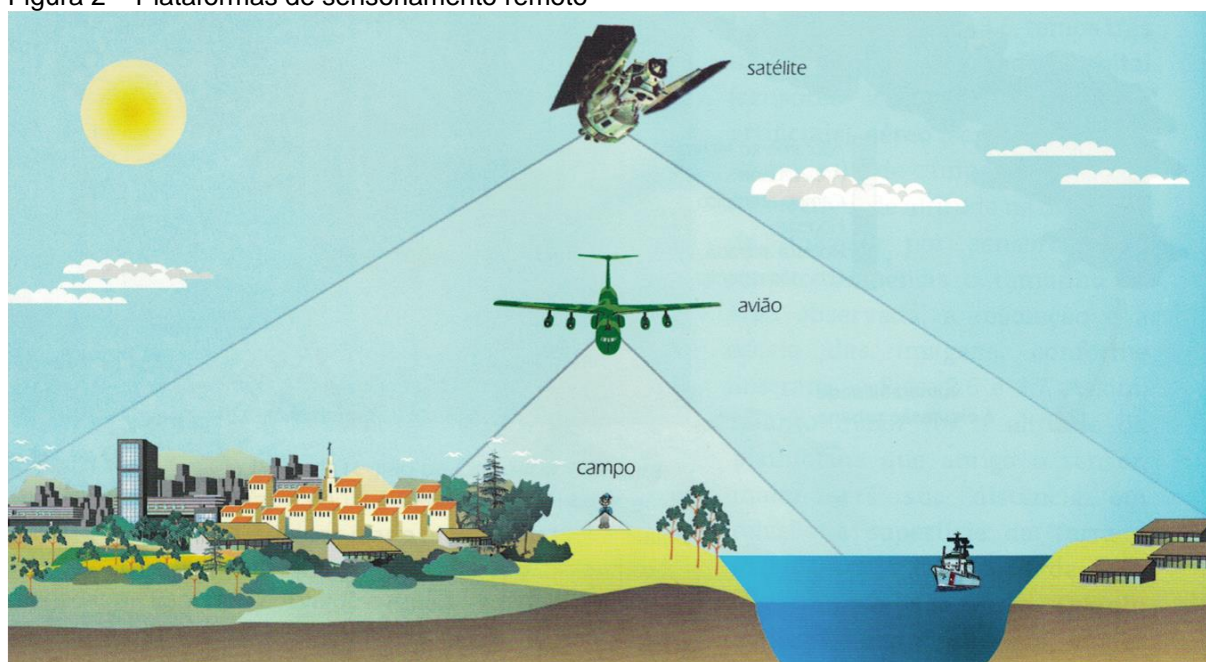
- Não-fotográfico: a energia é representada em quantidade discreta e seus dados estão em forma de sinais elétricos permitindo serem transmitidos eletronicamente. Por esta razão, são facilmente digitalizados e analisados por meio de técnicas computacionais.

- Fotográfico: a energia é representada de maneira contínua (analógica), é mais simples quando comparado ao não-fotográfico, seu processo usa reações químicas na superfície de um filme sensível à luz para detectar as variações de energia dentro de uma cena.

2.2.2 Plataformas de Sensoriamento Remoto

A aquisição de dados espectrais de alvos da superfície terrestre pode ser realizada em diferentes níveis de altitude, ou seja, diferentes distâncias entre o sensor e a superfície a ser observada. São adotados três níveis de coleta de dados: orbital, aéreo e de campo/laboratório (Figura 2). (FLORENZANO, 2011).

Figura 2 – Plataformas de sensoriamento remoto



Fonte: (Florenzano, 2011)

2.2.2.1 Plataforma Orbital

Para o nível orbital, empregam-se os satélites não tripulados e balões. Dentre os satélites utilizados para monitoramento ambiental, os mais populares são os da família LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*).

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), em 23 de julho de 1972, com o apoio do Ministério do Interior Americano, iniciou o programa para lançamento do satélite com sistema experimental chamado de *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-1), mas teve seu nome alterado para LANDSAT e, em 1975, houve o início da família LANDSAT (LANDSAT 2, 3, 4, 5 e 7). Os satélites LANDSAT 5 e 7 foram lançados com a finalidade de realizar o mapeamento multiespectral, em alta resolução, de recursos da superfície da Terra.

De acordo com o INPE (2006a), os três primeiros satélites da série LANDSAT apresentavam dois tipos de sensor: um imageador multiespectral de varredura (MSS – *Multispectral Scanner Subsystem*) de 4 canais, sendo duas no visível e duas no infravermelho, com resolução de 80 metros e um sistema RBV – *Return Beam Vidicom*, de 3 canais com resolução de 80 metros, no qual são observadas todas as cenas imageadas de forma instantânea.

O LANDSAT 5 difere dos anteriores por apresentar, além do sensor MSS, o sensor TM (*Thematic Mapper*), que é um sensor óptico mecânico que registra dados em sete bandas espectrais: três, nas regiões do visível; uma no infravermelho próximo; duas no infravermelho médio e uma no infravermelho termal, com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 30 metros, exceto para o termal que é de 120 metros.

O LANDSAT 7 foi lançado em abril de 1999, teve sua última atualização em 2003 e foi encerrado. Neste satélite foi incluído o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), que opera de forma idêntica ao TM, diferindo apenas pelo acréscimo de uma banda pancromática e o aumento de ganho na banda termal, com resolução espacial de 60 metros na banda termal e de 15 metros na pancromática, sendo que a última oferece uma resolução espectral de 0,52 – 0,90 m (EMBRAPA, 2017a).

2.2.2.2 Plataforma Aérea

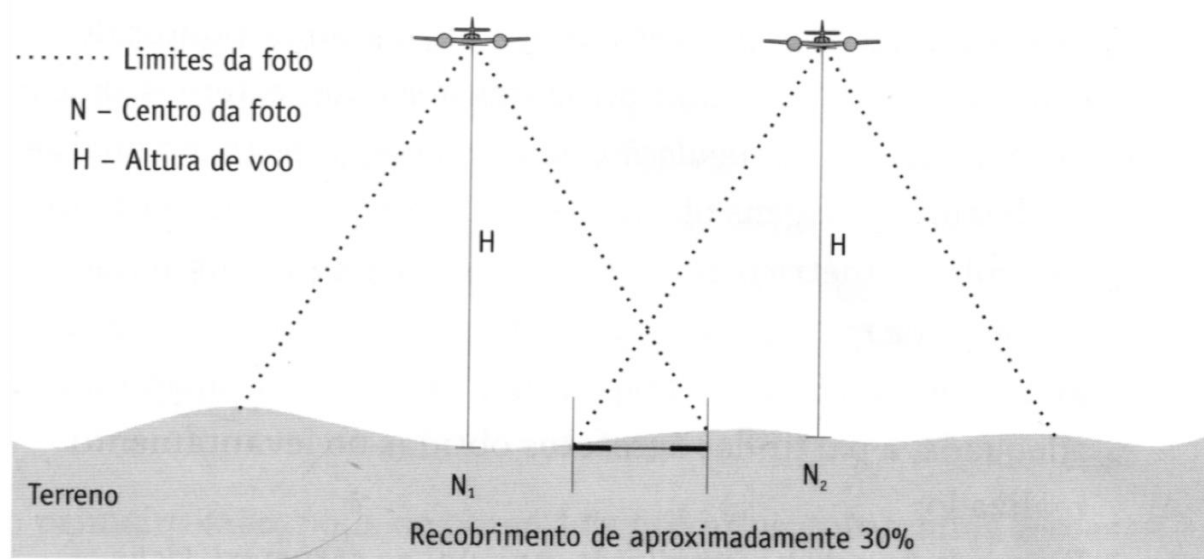
Para a obtenção de imagens em plataforma aérea, os sensores são colocados em aeronaves. De acordo com (FITZ, 2008), essas aeronaves são especialmente preparadas para este fim, podendo os sensores serem analógicos (câmera fotográfica analógica), digital e radar.

No caso do produto a ser gerado ser uma foto, é necessário um planejamento prévio do voo, como a área a ser imageada, altura de voo, velocidade, autonomia da aeronave, características do sensor e assim por diante. É fundamental, com esse tipo de sensor, determinar as linhas de voo, preferencialmente nos sentidos norte-sul ou leste-oeste (FITZ, 2008).

Além das linhas de voo, é preciso que se estabeleçam faixas de superposição de fotos adjacentes, a fim de garantir que não haja perda de informações e que se obtenha dados altimétricos.

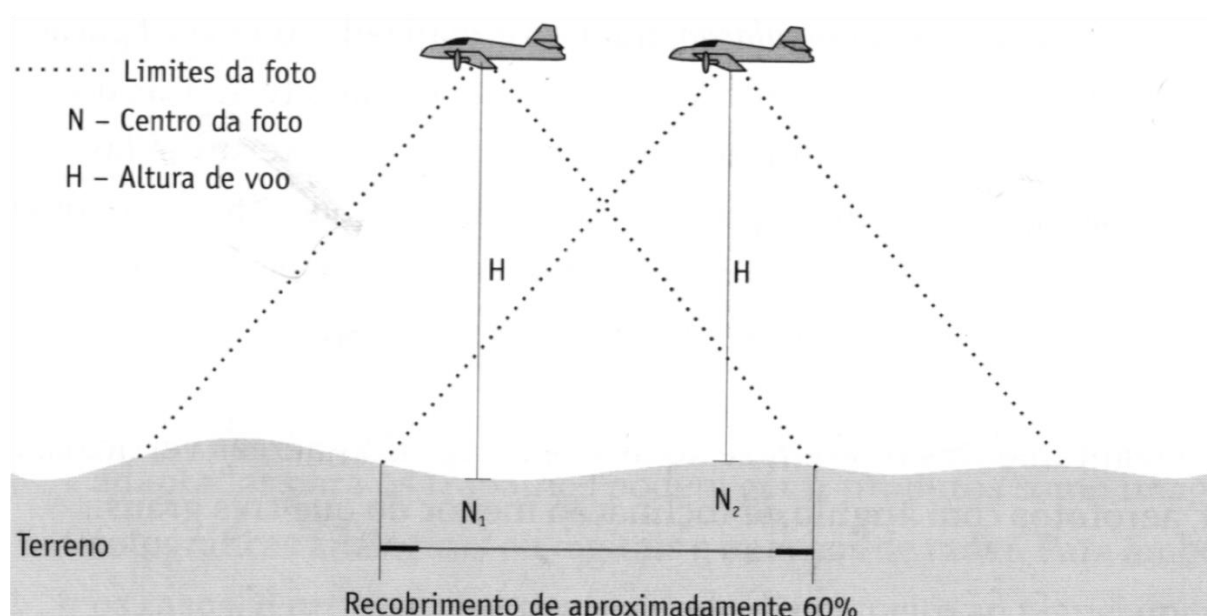
Essas faixas podem ser de dois tipos: recobrimento lateral (*sidelap*) de 20% a 30% e recobrimento longitudinal (*overlap*) de cerca de 50% e 60%, conforme visto nas Figura 3 e Figura 4.

Figura 3 – *Sidelap*



Fonte: (FITZ, 2008)

Figura 4 – *Overlap*



Fonte: (FITZ, 2008)

Outro parâmetro importante a ser considerado é o *Ground Sampling Distance* (GSD). O GSD é a distância entre o centro de dois pixels consecutivos, medido no solo. Quanto maior o GSD, menor é a resolução da imagem e menos detalhes são visíveis. O GSD tem relação direta com a altura de voo, quando maior a altura, maior o GSD.

2.2.2.3 Plataforma Terrestre

No nível terrestre, os sistemas sensores podem ser instalados em mastros, colocados em barcos, fixados em boias ou fixados dentro de laboratórios.

A escolha certa do sensor está diretamente ligada ao objetivo da pesquisa pois, a definição correta das características do sistema, como por exemplo, informações espectrais e o nível de coleta, influenciará na precisão dos resultados pretendidos.

2.2.3 Resoluções

O conhecimento acerca dos parâmetros de desempenho dos sistemas sensores é de suma importância para o sucesso da aquisição e análise dos dados. Para cada tipo de aplicação, independentemente do tipo de sensor, é necessário buscar as configurações adequadas de resoluções espacial, espectral, temporal e radiométrica (INPE, 2006a; NOVO, 2008).

A resolução espacial de uma imagem determinará o tipo de aplicação para a qual pode ser utilizada e possui papel importante na interpretação e análise de imagens, pois está relacionada ao nível de detalhe das informações adquiridas pelo sensor.

Segundo Navulur (2006), as resoluções espaciais são categorizadas da seguinte maneira: (1) baixa resolução - imagens com pixels maiores ou iguais a 30 m, (2) media resolução – pixels de 2,0 a 30 metros, (3) alta resolução – de 0,5 a 2,0 metros e (4) altíssima resolução – menores que 0,5 metros.

A resolução espectral é definida, segundo Novo (2008), como a medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno, sendo diretamente proporcional à capacidade de discernimento das variações no comportamento espectral do alvo estudado. Quanto menor a faixa, melhor a resolução espectral ou o poder de discriminação do sensor.

A resolução temporal, para Moreira (2001), é definida em função da plataforma na qual o sensor está colocado. Considerando os sensores orbitais, a resolução temporal indica o intervalo de tempo que o satélite leva para voltar a recobrir a área de interesse. Quanto maior a largura da faixa, menor é o intervalo de tempo de cobertura. Já para Jensen (2009), resolução temporal de um sistema de sensoriamento remoto consiste no intervalo de tempo em que o sensor registra imagens de uma área particular, como por exemplo, Landsat 5 TM, cuja resolução temporal é de 16 dias.

Lillesand e Kiefer (1994) destacam a importância do conhecimento do conceito de pixel, sendo que, uma imagem de sensoriamento remoto digital é composta por um conjunto destes elementos, dispostos na forma de uma matriz bidimensional. Cada pixel representa uma porção da superfície terrestre e o conjunto de pixels corresponde à área total coberta pela imagem. Cada pixel é associado a um valor de intensidade denominado número digital (DN, *Digital Number*), que representa a medida física da quantidade de energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos e detectada pelo sensor. O número digital é armazenado com uma quantidade finita de bits e o número de bits utilizados para armazenar uma imagem digital expressa a resolução radiométrica.

2.2.4 *Flying Ad-Hoc Network* - FANET

Uma FANET é uma rede formada por dispositivos, geralmente referidos como, veículos aéreos não tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles* - UAVs). O uso de UAVs possibilitou a criação de aplicações inovadoras, introduzindo um novo paradigma de redes de computadores, conhecido como FANET.

As FANETs diferem de seus antecessores tradicionais (MANETs) como resultado da alta mobilidade dos UAVs, maior conectividade, expansão nas áreas de aplicação,

entre outras. A esse respeito, as FANETs podem generalizar e extrapolar as topologias de 2D para 3D, por conta de um esquema de movimento livre, devido à capacidade dos UAVs de voar, de forma independentemente, no espaço tridimensional. Esse novo contexto atraiu pesquisadores e a indústria, além de fornecer uma força motriz para aplicações da vida real.

As FANETs são geralmente usadas para fornecer conectividade a locais de difícil acesso, em regiões onde ocorreram desastres naturais ou mesmo para aplicações militares. Após um evento catastrófico (como terremoto, furacão, tsunami, rompimento de barragem, incêndios florestais, etc.), as infraestruturas de rede tradicionais podem sofrer danos, estando sujeitas a desligamentos automáticos. No entanto, o emprego de FANETs pode reestabelecer as comunicações nestas áreas. Além disso, os UAVs podem estar equipados com sensores capazes de fornecer uma visão aérea constante e, assim, ajudar equipes de resgate e bombeiros a salvar vidas.

Quando a área a ser monitorada é muito extensa, pode ser impraticável, em alguns momentos, estabelecer comunicação direta dos UAVs com a estação base em solo. No entanto, esse problema pode ser superado através da comunicação salto a salto, que requer o uso de um protocolo de roteamento para descobrir a melhor rota/caminho da origem ao destino final (YANG; LIU; LI, 2018).

2.2.4.1 Desafios para FANETs

A alta mobilidade dos UAVs implica dizer que a topologia da rede pode mudar ao longo do tempo, portanto, descobrir e manter rotas se torna um dos principais problemas a serem resolvidos (WANG, 1996).

Os protocolos de roteamento são responsáveis por encontrar, estabelecer e manter rotas entre dois nós que desejam se comunicar. Esses protocolos devem minimizar a sobrecarga de comunicação e o consumo de largura de banda.

Um protocolo de roteamento direcionado às FANETs é mais complexo que os protocolos de rede fixas. Tal fato se deve a várias características dessas redes, como algoritmo para topologia dinâmica, interferência mútua, energia restrita e recursos limitados disponíveis nos UAVs.

Em uma FANET, dada a mobilidade do UAV, pode acontecer que uma aeronave não esteja próxima o suficiente da outra para estabelecer comunicação; portanto, será necessário usar as informações de roteamento para escolher uma rota alternativa. Essa comunicação pode ser feita em vários saltos, contando com a colaboração de nós intermediários, ou seja, a comunicação não se restringe ao raio de cobertura de cada dispositivo individualmente, mas à soma do raio de todos os dispositivos.

A mobilidade dos UAVs e seu arranjo espacial também são muito importantes para determinar as rotas de comunicação. Como resultado do movimento, essas rotas, geralmente, são reorganizadas para que a interconexão entre os UAVs seja mantida. Por esse motivo, o roteamento deve ser realizado dinamicamente, aumentando a autonomia dos UAVs e reduzindo o atraso na entrega de dados entre um nó de origem e um nó de destino (JU; LIU, 2012).

2.3 Autômatos celulares

Autômatos celulares (*cellular automata* - CA) são sistemas computacionais discretos e abstratos que são um meio útil de modelagem de sistemas complexos e dinâmicas não lineares em diversas áreas científicas. A CA é tipicamente discreta em termos de tempo e espaço. Eles são compostos de um conjunto finito ou enumerado de unidades simples e homogêneas, conhecidas como átomos ou células. A cada instante (de tempo), um conjunto de estados finitos é instanciado pelas células. Eles evoluem em paralelo, em etapas de tempo discretas, seguindo funções de atualização de estados ou regras dinâmicas de transição. Se houver um requisito para que o CA seja abstrato, eles podem ser especificados em termos puramente matemáticos e implementados com base em estruturas físicas. Por último, CA são sistemas computacionais: eles podem calcular funções e resolver algoritmos (BERTO; TAGLIABUE, 2012)

CA é definido em função de quatro parâmetros $U = (\mathbb{L}, \mathbb{Q}, \mathbb{R}, f)$, onde:

\mathbb{L} = estrutura de células n-dimensionais (lattice), podendo ser uni-dimensional, bi-dimensional, ..., n-dimensional.

\mathbb{Q} = conjunto de estados. A cada instante de tempo, cada célula estará em um e, somente um, estado $\sigma \in \Sigma$, onde Σ é o conjunto de estados com cardinalidade finita $|\Sigma| = k$.

\mathbb{R} = vizinhança de uma célula. O comportamento de cada célula depende do que acontece com as células diretamente vizinhas. Ações a distância não são permitidas.

f = função de transição. A cada instante, as células atualizam seus estados de acordo com uma função de transição determinística $\phi: \Sigma^n \rightarrow \Sigma$, que mapeia a configuração da vizinhança (n-tuplas dos estados de Σ) para Σ . ϕ é usado como entrada, no instante t , todos os estados dos vizinhos no instante $t-1$.

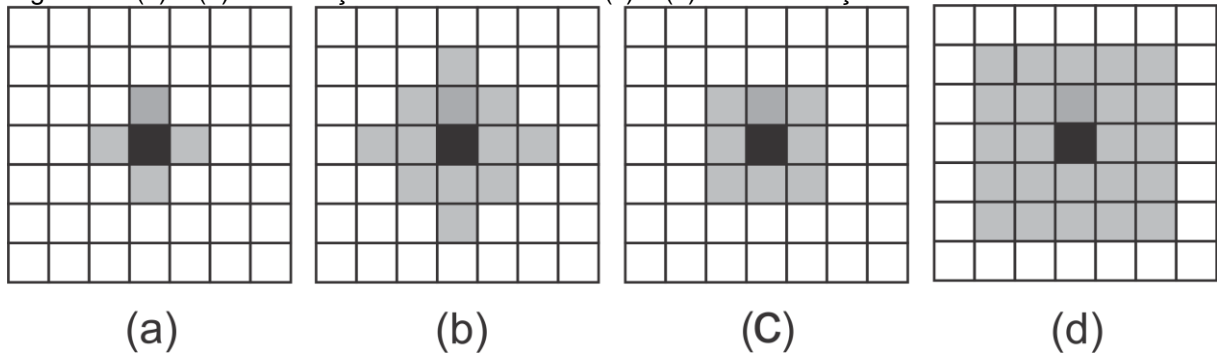
No caso de um CA uni-dimensional, a regra pode ser:

$$\sigma_i(t+1) = \phi(\sigma_{i-r}(t), \phi(\sigma_{i-r+1}(t), \dots, \phi(\sigma_{i+r-1}(t), \phi(\sigma_{i+r}(t))) \quad (1)$$

Onde $\sigma_i(t) \in \Sigma = \{0, 1, \dots, k-1\}$ é o estado da célula i , no instante t ; r é o número de vizinhos de uma dada célula; e ϕ é definido explicitamente pela atribuição de valores Σ para cada um dos $k^{2r+1}(2r+1)$ - *tuplas*, que representam todas as configurações possíveis da vizinhança.

A CA bidimensional é recomendada para representar fenômenos físicos, biológicos e humanos, entre outros. Os formatos mais comuns das células são quadrados ou hexagonais devido à simetria de suas formas. Usando duas dimensões, há uma maior probabilidade de combinar regras de vizinhança. No caso das células quadradas, os tipos mais comuns de vizinhança são os de von Neumann, em que cada célula interage com apenas quatro vizinhos horizontais e verticais. Com os tipos de vizinhança de Moore, a interação ocorre com oito vizinhos adjacentes imediatos. É possível aumentar o número de vizinhos considerados desde que o formato da vizinhança não seja alterado, como ilustra a Figura 5.

Figura 5 – (a) e (b) vizinhança de von Neumann e (c) e (d) de vizinhança de Moore



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

2.4 Cadeias de Markov a tempo discreto

Uma cadeia de Markov é um processo estocástico $\{X_{t_n} : t_n \in T\}$, onde $T \subseteq [0, +\infty)$ é, normalmente, denominado de parâmetro do tempo, com espaço de estados discreto S , no qual para todo parâmetro $t_n \in T$, tal que $0 = t_0 < t_1 < t_2 \dots < t_{n-1} < t_n$, e para toda configuração $s_i \in S$, a seguinte condição é satisfeita:

$$\begin{aligned} P(X_{t_{n+1}} = s_{t_{n+1}} | X_{t_0} = s_{t_0}, X_{t_1} = s_{t_1}, \dots, X_{t_{n-1}} = s_{t_{n-1}}, X_{t_n} = s_{t_n}) \\ = P(X_{t_{n+1}} = s_{t_{n+1}} | X_{t_n} = s_{t_n}) \end{aligned} \quad (2)$$

Esta condição descreve a mais importante propriedade de Markov, também conhecida como “ausência de memória”. A equação 1 pode ser interpretada no sentido de que todo o histórico da cadeia pode ser sumarizado no estado atual s_t . Em outras palavras, dado o presente, o futuro é condicionalmente independente do passado (BOLCH *et al.*, 2006)

Nesta definição de cadeias de Markov estão incluídas tanto as cadeias de parâmetro discreto, quanto as cadeias de parâmetro contínuo. Visto que, normalmente, o parâmetro t_n das cadeias de Markov representa o tempo no qual o processo evolui, costuma-se então utilizar as denominações de Cadeias de Markov a Tempo Discreto (CMTD) e Cadeias de Markov a Tempo Contínuo (CMTC).

Nas CMTD, as transições entre estados ocorrem em pontos discretos de tempo e se utiliza $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ para representar o parâmetro T . Com isso a equação 1 pode ser escrita como:

$$\begin{aligned} &P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_0 = s_0, X_1 = s_1, \dots, X_{n-1} = s_{n-1}, X_n = s_n) \\ &= P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_n = s_n) \end{aligned} \quad (3)$$

Isto quer dizer que as Probabilidades de Transição $P(X_{n+1} = S_{n+1} | X_0 = S_0)$, correspondem à probabilidade do estado X_{n+1} ser igual a S_{n+1} , no tempo $n+1$, dado que o estado X_n é igual a S_n no tempo n .

Considerando $S = \{0, 1, 2, \dots\}$, tem-se que a probabilidade de transição de passo 1 do estado i para o estado j no tempo n é dada por:

$$p_{ij}^{(1)}(n) = P(X_{n+1} = s_{n+1} = j | X_n = s_n = i) \quad (4)$$

No caso homogêneo em que a função probabilidade de massa (mpf) condicional não depende do período n , tem-se:

$$p_{ij}^{(1)} = p_{ij}^{(n)}(n) = P(X_{n+1} = j | X_n = i) = P(X_1 = j | X_0 = i), \forall n \in T \quad (5)$$

Sabendo-se que partindo de um estado i a CMTD irá transicionar para um estado j qualquer, inclusive $j = i$, então $\sum_j p_{ij} = 1$, onde $0 \leq p_{ij} \leq 1$. Dessa forma, as probabilidades de transição de passo 1 podem ser escritas na forma de uma matriz de transição estocástica não negativa P .

$$P = P^{(1)} = [p_{ij}] = \begin{pmatrix} p_{00} & \dots & p_{0j} \\ p_{10} & \dots & p_{1j} \\ p_{i0} & \dots & p_{ij} \end{pmatrix} \quad (6)$$

A partir da equação de probabilidade de transição de passo 1, é possível generalizar para as probabilidades de transição no passo n , com o uso da equação:

$$p_{ij}^{(n)}(k, l) = P(X_l = j | X_k = i), 0 \leq k \leq l. \quad (7)$$

Onde $p_{ij}^{(n)}(k, l)$ denota a probabilidade da CM transicionar do estado i no tempo k para o estado j no tempo l em exatos $n = l - k$ passos.

Fazendo uso das equações de Chapman-Kolmogorov para CMTD homogêneas, tem-se:

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_{h \in S} p_{ih}^{(m)} p_{hj}^{(n-m)}, 0 < m < n. \quad (8)$$

Onde $p_{ij}^{(n)}$ é a probabilidade de transição do estado i para o estado j , passando por um estado intermediário h .

Tomando $P^{(n)}$ como a matriz das probabilidades de transição de passo n $p_{ij}^{(n)}$, a equação 7 pode ser reescrita na forma de matriz para o caso particular em que $m = 1$ como $P^{(1)}P^{(n-1)} = PP^{(n-1)}$. De forma recursiva tem-se:

$$P^{(n)} = PP^{(n-1)} = P^n \quad (9)$$

Dessa forma, a matriz de probabilidade de transição no passo n pode ser calculada multiplicando a matriz de probabilidade de passo 1 por ela mesma elevada a $n-1$, por exemplo, a matriz de probabilidade de transição no passo 3 será dada por $P^{(3)} = PP^{(2)}$.

2.5 Sistemas Fuzzy

A habilidade de lidar com problemas complexos, baseados em informações vagas ou imprecisas, utilizando a linguagem natural, é inerente aos seres humanos. Nesse contexto, a Teoria de Conjuntos Fuzzy e a Lógica Fuzzy podem ser utilizados para dar o formalismo matemático necessário, a fim de resolver problemas dessa natureza. (PROKOPOWICZ *et al.*, 2017)

2.5.1 Conjuntos Fuzzy

Zadeh (1965) introduziu e descreveu os conjuntos Fuzzy por meio de funções de pertinência. Diferentemente da teoria clássica de conjuntos, dado um conjunto Fuzzy A , um elemento x pertence a esse conjunto, com um grau de pertinência de que varia de $[0,1]$.

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (10)$$

onde $\mu_A(x)$ indica o quanto x é compatível com o conjunto A .

Existem várias funções de pertinência em conjuntos Fuzzy, como por exemplo:

2.5.1.1 Função de Pertinência Gaussiana

$$\mu_A(x; c, \delta) = \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\delta^2}\right) \quad (11)$$

onde c é o centro da função e δ determina sua dispersão.

2.5.1.2 Função de Pertinência Trapezoidal

$$\mu_A(x; p, q, r, s) = \begin{cases} 0, & x \leq p, \\ \frac{x-p}{q-p}, & p < x \leq q, \\ 1, & q < x \leq r, \\ \frac{s-x}{s-r}, & r < x \leq s, \\ 0, & x > s. \end{cases} \quad (12)$$

onde, $p \leq q \leq r \leq s$ são parâmetros.

Um caso especial da Função de Pertinência Trapezoidal é a Função Triangular.

Os conjuntos Fuzzy também podem ser representados por um par ordenado do tipo: um objeto x e o seu grau de pertinência $\mu_A(x) \in [0,1]$ em um conjunto A .

Para um universo discreto \mathbb{X} , composto por elementos ordenados ou não, pode ser descrito da seguinte forma:

$$A = \sum_{x \in \mathbb{X}} \mu_A(x)/x \quad (13)$$

Para um universo contínuo \mathbb{X} , tem-se:

$$A = \int_{\mathbb{X}} \mu_A(x)/x \quad (14)$$

As operações com conjuntos Fuzzy, guardam similaridade com as da teoria clássica de conjuntos. As operações mais comuns são:

União de dois conjuntos: $A \cup B: M(A(x) + B(x)) = \max(MA(X), MB(X))$ (15)

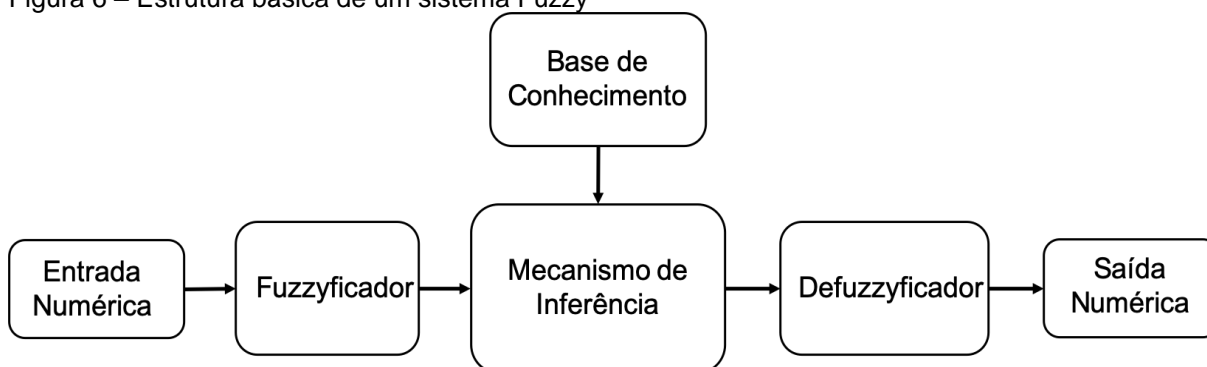
Interseção de $A \cap B$: $\min(MA(x), MB(x))$ (16)

Negação: $M(A(x) = (1 - MA(x)))$ (17)

2.5.2 Sistema de Controle Fuzzy

Um sistema de controle Fuzzy é composto dos seguintes blocos: a base de conhecimento, que consiste na base de regras Fuzzy e as definições linguísticas para as variáveis de entrada e saída; o mecanismo de inferência, que aplica as regras Fuzzy para calcular a ativação de cada variável; o bloco de fuzzyficação que converte uma entrada numérica em uma variável Fuzzy. O bloco de defuzzyficação que converte a saída do controlador de lógica Fuzzy em uma variável numérica (PROKOPOWICZ *et al.*, 2017). Na Figura 6, os componentes presentes na estrutura básica de um sistema Fuzzy, são representados em um diagrama de blocos.

Figura 6 – Estrutura básica de um sistema Fuzzy



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

2.5.2.1 Fuzzyficação e Defuzzyficação

Muitas aplicações fornecem, como dados de entrada, valores numéricos. Acontece que os mecanismos de inferência Fuzzy precisam de entradas representadas como um conjunto Fuzzy. Diante disso, é necessário fazer o mapeamento das entradas numéricas em um conjunto Fuzzy. Esse processo é chamado de fuzzyficação.

Segundo (PROKOPOWICZ *et al.*, 2017), a fuzzyficação pode ser representada simbolicamente como a transformação de um espaço N-dimensional para um conjunto fuzzy de vários elementos.

$$\underline{X} \Rightarrow \mathcal{F}(X) \quad (18)$$

Usando a função de pertinência, pode ser escrito como:

$$\underline{X} \Rightarrow \{\mu_{A'}(x) | x \in \underline{X}, \mu_{A'}(x) \in [0,1]\} \quad (19)$$

O resultado do mecanismo de inferência é um conjunto fuzzy $B'(y)$, que pode ser associado à um rótulo linguístico. Muitas aplicações necessitam de uma saída numérica, logo, é necessário mapear a população do conjunto fuzzy $B'(y)$ em um valor numérico. Esse processo é chamado defuzzyficação.

$$\mathcal{F}(\mathbb{Y}) \rightarrow \mathbb{Y} \quad (20)$$

Usando a função de pertinência, pode ser escrito como:

$$\{\mu_{B'}(y) | y \in \mathbb{Y}, \mu_{B'}(y) \in [0,1]\} \rightarrow \mathbb{Y} \quad (21)$$

Devido aos diferentes critérios para determinar que elemento y_0 do conjunto Fuzzy $B'(y)$ é o mais representativo, existem vários procedimentos de defuzzyficação. O mais popular é o método do centro de massa ou gravidade (*Center of Gravity - COG*), que fornece o resultado como sendo o centro da área abaixo da função de pertinência $\mu_{B'}(y)$. (PROKOPOWICZ *et al.*, 2017)

$$y_0 = \frac{\int_{\mathbb{Y}} \mu_{B'}(y) dy}{\int_{\mathbb{Y}} \mu_{B'}(y) dy'} \quad (22)$$

2.6 Considerações finais

Este capítulo apresentou inicialmente um apanhado geral sobre sensoriamento remoto, seguido de conceitos sobre Autômatos Celulares e Cadeias de Markov e FANETs, além de uma visão geral da teoria de conjuntos Fuzzy e sistemas de controle Fuzzy, que foram aplicados na construção de um protocolo de roteamento específico para FANETs, proposto nessa tese.

No próximo capítulo será apresentado o estudo de trabalhos correlatos, que realiza um amplo levantamento, para efeito de comparação com a proposta desta tese, sobre os trabalhos publicados na literatura especializada.

3 TRABALHOS CORRELATOS

3.1 Considerações iniciais

A necessidade de compreender a dinâmica das mudanças no uso e cobertura da terra, implica, entre outras coisas, na obtenção e utilização de imagens, que, dependendo do objetivo, podem ser de satélite, aéreas ou de campo, conforme visto no capítulo 2.

Acontece que imagens obtidas por sensores ópticos instalados em satélites, apesar de serem largamente difundidas e utilizadas em diversos estudos de LULC, podem apresentar o inconveniente da cobertura de nuvens ou das sombras das nuvens, principalmente em regiões com o clima tropical úmido, o que dificulta a visualização plena das imagens.

Alternativamente, pode-se utilizar imagens captadas por sensores instalados em UAVs, o que permite obter imagens mais detalhadas e sem o problema da cobertura de nuvens.

Neste capítulo, serão destacadas as propostas específicas para os domínios relacionados a esta tese de doutorado, com a finalidade de expor uma discussão acerca do estado da arte das áreas envolvidas nesta proposta.

3.2 Classificação e previsão baseadas em imagens

A utilização de sensores ópticos, embarcados em satélites como o Landsat, para imagear áreas localizadas em regiões de clima tropical úmido, cuja presença de nuvens é uma constante, pode apresentar alguns contratempos em relação à criação de uma base de dados com o histórico de imagens com baixa cobertura de nuvens.

A criação de uma base de dados desta natureza é particularmente interessante quando se deseja utilizar alguma técnica de classificação de imagens. Imagens classificadas são a base para estudo de mudança no uso e cobertura da terra, predição de cenários de uso e cobertura da terra, entre outros. No caso da presente

tese, o histórico se faz necessário para aumentar as possibilidades de combinação de imagens e a respectiva verificação de acuidade na previsão.

Em (SHAFAEY *et al.*, 2019), os autores apresentam uma comparação entre métodos utilizados para classificação de imagens de satélite (*AlexNet*, *GoogleNet* e *CaffeNet*, com foco principal em *deep learning*, especificamente em *Convolutional Neural Networks* (CNN). Segundo os autores, o modelo CNN utilizado foi do *AlexNet* e consiste de 25 camadas e foi treinada utilizando as imagens contidas na base de dados ImageNet, que conta com mais de 15 milhões de imagens, divididas em 22.000 categorias. Ao ser comparado com o *GoogleNet* e *CaffeNet*, sob o mesmo conjunto de dados, o *GoogleNet* apresentou uma melhor acurácia (~97% e os demais ~94%), mas em termo de tempo de execução, o modelo implementado no *AlexNet*, foi melhor (14s e o *GoogleNet* 51s).

Em (MA *et al.*, 2019), é realizado um estudo sobre o uso de *deep learning* em aplicações de sensoriamento remoto, entre as quais se encontram a classificação de imagens e o reconhecimento de objetos. Neste contexto, os autores pontuam que, em termos práticos, o conjunto de imagens disponíveis para uso como base de treinamento ainda são particularmente restritas, quando se trata de classificação de LULC.

Por outro lado, é possível o uso de métodos de classificação que não necessitem de muitas imagens para gerar mapas temáticos, assim como para gerar previsões.

Em (PAUL *et al.*, 2018), são utilizadas as ferramentas de modelagem *Object oriented image classification* (OOIC), uma rede neural do tipo MLP (*Multi-layer perception*), em conjunto com cadeias de Markov (CM), para classificar e prever mudanças no uso e cobertura da terra. Neste estudo, após a análise das imagens disponíveis, entre 1980 e 2010, foram selecionadas 3 imagens, que atendiam a critérios como qualidade da imagem (livre de nuvens, p.ex.) e data de aquisição, a fim de diminuir o efeito da sazonalidade. A OOIC foi utilizada para classificar as imagens, com uma acurácia total de 90,45% e Cadeias de Markov para realizar as previsões para o ano de 2020, apresentando uma variação muito pequena para os valores das classes de LULC, mas uma diminuição de áreas alagadas de 67,89 km². As transições foram estimadas pela MLP.

3.3 Cobertura de nuvens e a qualidade da imagem

A problemática da cobertura de nuvens foi abordada no estudo apresentado em (ARAI *et al.*, 2015), no qual os autores propõem a avaliação da frequência da cobertura de nuvens, utilizando o sensor MODIS, a bordo do satélite Terra. Foram utilizados os anos de 2009 e 2010, por serem considerados como extremos climáticos, sendo o primeiro caracterizado por inundações, devido ao elevado índice pluviométrico, e o segundo, como um ano de seca extrema. A média do número de dias cobertos por nuvens para o estado do Pará foi de 228 dias em 2009 e de 225 dias em 2010, o que demonstra que a busca por alternativas é imperativa. Diversos autores têm se deparado com este problema ao longo do tempo e vêm propondo soluções para contornar esse inconveniente.

Em (ADAM *et al.*, 2018), os autores apresentam um estudo comparativo entre três métodos para remoção do efeito de nuvens e sombra de nuvens. O primeiro método é o ajuste temporal usando série de Fourier. O segundo, utiliza *sparse spectral unmixing* para preencher as áreas ausentes. O terceiro método emprega a consistência radiométrica para determinar a parte faltante do sinal. As comparações foram feitas utilizando as métricas SSIM e PSNR. Foi possível definir que o algoritmo *Unmixing* obteve um bom desempenho, apesar de ser difícil de ser generalizado para além do escopo desses experimentos.

Siravenha *et al* (2014) propõem uma maneira de minimizar os efeitos de nuvens e sombras em imagens, capturadas por satélite, por meio da utilização de uma abordagem híbrida em relação à remoção e substituição desses elementos. O método proposto realiza a decomposição de regiões usando um filtro não linear de mediana, a fim de mapear regiões de estrutura e textura. Na região de estrutura, é aplicado o método de pintura por suavização com base no *Discrete Cosine Transform* (DCT), e na região de textura, é aplicada a síntese de textura baseada em exemplos. Em termos qualitativos, o uso da abordagem híbrida obteve melhores resultados do que o uso das técnicas separadamente.

Em (ASNER, 2001), é colocado de forma clara que a cobertura de nuvens é um dos principais obstáculos para o sensoriamento remoto em regiões tropicais úmidas.

A partir do estudo de imagens da Amazônia brasileira, adquiridas pelo Landsat, no período de 1984 a 1997, foi constatado que observações mensais da região são bastante improváveis com o uso de sensores ópticos, considerando imagens com cobertura de 30% de nuvens. Alternativamente, é sugerida a utilização de tecnologias de radar e técnicas de fusão de imagens ópticas para mitigar o problema da cobertura de nuvens.

Utilizando imagens do Landsat adquiridas durante os anos de 1990/1991, 1999/2000 e 2008/2010, com o objetivo de realizar uma análise espaço-temporal de mudanças no uso e cobertura da terra, na Amazônia brasileira, (LU *et al.*, 2013) recorreu ao uso de múltiplas imagens, de anos próximos (2000 e 1999) e de sensores diferentes (Landsat ETM+ e Landsat TM), para remover a ocorrência de nuvens/sobras, assumindo que as nuvens aparecem em lugares diferentes em cada dia de aquisição de uma imagem.

Com o objetivo de fazer um mapeamento do uso da terra pós-desmatamento na Amazônia brasileira, (BEWERNICK, 2015) utiliza sensoriamento remoto para obter séries temporais. Ocorre que, devido à cobertura de nuvens, a obtenção de séries temporais é bastante prejudicada, reduzindo o número de observações válidas. Para contornar esse problema, os autores testaram a FMASK que é um recurso para o mascaramento de nuvens e sombras de nuvens, disponibilizado nas imagens fornecidas pelo US *Geological Survey* (USGS), além do algoritmo chamado de TMASK, desenvolvido por Zhu e Woodcock (2012). A utilização desses dois algoritmos apresentou uma acurácia total de 85%.

A utilização de UAVs para a detecção de áreas desmatadas também é empregado em (CRUZ *et al.*, 2017), por tratar-se de equipamento capaz de operar em regiões com grande cobertura de nuvens. O objetivo dos autores é de prover um algoritmo estável, eficiente e rápido, que será embarcado no UAV e que possa, em tempo real, detectar algum problema (desmatamento) e enviar as coordenadas para uma base em terra. Os testes realizados demonstraram uma acurácia de 96,4% do algoritmo proposto em relação a outros métodos utilizados para a mesma finalidade, além de um tempo de processamento de 0,082 s.

O monitoramento da Área de Proteção Ambiental Jenipabu, no Rio Grande do Norte, utilizando uma plataforma multi-UAV capaz de detectar, por meio do uso de um

sistema embarcado, ações consideradas ilegais nessa área, é proposto em (LEITE *et al.*, 2018). Os autores fazem um estudo comparativo acerca modelos de propagação Espaço Livre, Okumura-Hata e Probabilístico (baseado em medições realizadas na cidade de Natal/RN). O pior desempenho foi do modelo de propagação Okumura-Hata, sendo seguido pelo de Espaço Livre. O modelo probabilístico atingiu os melhores resultados.

3.4 Roteamento em FANET

No artigo (VASILIEV; MEITIS; ABILOV, 2014) os autores analisam os protocolos de roteamento AODV, OLSR e HWMP em Redes Ad-Hoc Voadoras (FANETs), com o auxílio do simulador NS-3. Os protocolos são avaliados por meio do uso de métricas de qualidade de serviço (QoS) e do modelo de mobilidade Gauss-Markov. No entanto, o estudo apenas compara os protocolos, mas não recomenda nenhuma melhoria para eles.

Em (KHELIF *et al.*, 2018), os autores elaboram um novo mecanismo para roteamento de dados baseado na localização, em áreas que não são atendidas por GPS ou que o seu uso é um desafio. Esse mecanismo se baseia em uma técnica de localização ponderada do centroide, na qual a posição de UAVs desconhecidos é calculada por meio de lógica Fuzzy. Este artigo não leva em consideração que mudanças na topologia exigem novo roteamento de pacotes ou a autonomia de voo de cada UAV.

No artigo (NAYYAR, 2018), os autores investigam um protocolo de roteamento chamado P-OLSR (OLSR preditivo), que é uma extensão do protocolo OLSR tradicional. Os autores comparam o P-OLSR com o OLSR por meio de métricas de QoS. No entanto, embora o documento tenha apresentado um novo protocolo de roteamento, não houve comparação com outros protocolos existentes, além de não haver métricas de QoE para avaliá-lo.

Kaur e Singh (2018), recomendam um algoritmo de eficiência energética para drones que inclui parâmetros do canal de comunicação. Esse sistema reduz o consumo de energia, mas embora haja várias alterações na topologia, a rede não

consegue identificar novas rotas de maneira eficaz e, assim, manter o nível de qualidade necessário.

Em (LITVINOV; LEONOV; KORNEEV, 2018), os autores realizam uma pesquisa dos protocolos de roteamento para VANET e FANET. O artigo discute o uso de técnicas de otimização (otimização por enxame de partículas, otimização por colônias de formigas e otimização por colônias de abelhas) para melhorar o desempenho do roteamento, mas não utilizam a autonomia de voo como parâmetro e nem consideram métricas de QoE.

No artigo (OUBBATI *et al.*, 2017), os autores discutem o uso da comunicação salto a salto entre os drones, como um meio de aumentar a área de cobertura da rede. No entanto, o artigo não discute até que ponto as alterações na topologia podem afetar a qualidade da transmissão, além de não ter se mostrado um protocolo de roteamento eficiente.

Em (RADU *et al.*, 2018), os autores introduzem o uso do protocolo de roteamento OLSR de múltiplos caminhos (MP-OLSR), em aplicações de FANET, especialmente no monitoramento de áreas que estão sendo atingidas por incêndios florestais, com o objetivo de aumentar as chances de resgate de vítimas, visto que a FANET transmitirá, em tempo real, as imagens do local. O trabalho considera cenários com diferentes faixas de velocidade, mas não aborda o problema de autonomia de voo.

No artigo (YANG; LIU, 2019), os autores propõem o uso da rede neural de Hopfield contínua (CHNN) para otimizar as rotas encontradas pelo protocolo DSR (*Dynamic Source Routing*), para que seja capaz de adaptar-se ao movimento, em alta velocidade, dos nós da FANET. A simulação usando o NS-3 mostra que o protocolo DSR otimizado melhora indicadores como atraso médio fim a fim, taxa de transferência e taxa de entrega de pacotes. Os autores não abordam as métricas de QoE e QoS.

Os autores abordados neste item, examinam técnicas utilizadas em FANETs, mas nenhum deles estabelece um protocolo de roteamento que forneça uma resposta eficaz às alterações na topologia de rede. Esses trabalhos também não abordam a autonomia de voo dos drones e nem fazem uso de inteligência computacional para aprimorar a tomada de decisões.

O Quadro 1 reúne, de forma resumida, as características dos algoritmos de roteamento utilizados nos trabalhos correlatos apresentados neste capítulo.

Quadro 1 – Resumo das características dos trabalhos correlatos.

Classificação e Previsão baseadas em Imagens			
Correlatos	Método Utilizado	Objetivo	Problemática
(Shafaey et al., 2019)	Deep Learning/CNN	Classificar de imagens de satélite	Necessidade de uma base de dados extensa
(Ma et al., 2019)	Deep Learning	Classificar imagens e identificar objetos	Necessidade de uma base de dados extensa
(Paul et al., 2018)	OOIC, MLP e cadeias de Markov	Classificar imagens e prever mudanças de LULC	Dificuldade de obter imagens devido cobertura de nuvens
Cobertura de Nuvens e a Qualidade da Imagem			
Correlatos	Método Utilizado	Objetivo	Problemática
(Adam et al., 2018)	Série de Fourier, space spectral unmixing e consistência radiométrica	Comparar 3 métodos para retirada de nuvens e sombras de nuvens	A variação no tamanho da nuvem ou na série temporal de imagens pode afetar sensivelmente o desempenho
(Siravenha et al., 2014)	Filtro não linear de mediana e <i>Discrete Cosine Transform</i>	Minimizar os efeitos de nuvens e sobras de nuvens em imagens de satélites	Necessidade de informações de contexto e outros atributos para quantitativos mais conclusivos
(Asner, 2001)	GIS	Estudar a cobertura de nuvens na Amazônia	Dificuldade em boa parte do ano em obter imagens com pouca cobertura de nuvens

(Lu et al., 2013)	Hierarchical-based classification method	Classificação de Imagens de satélite	Necessidade da utilização de imagens de diferentes anos e sensores para geração de imagens sem nuvens.
(Bewernick, 2015)	FMASK e TMASK	Mapear mudanças de LULC	Apesar da acurácia boa, ainda houve algumas falsas interpretações de sombras de nuvens
(Cruz et al., 2017)	Algoritmo de monitoramento embarcado em um UAV Gavilán	Detecção de áreas desmatadas em tempo real	Utilização de um drone bastante robusto e caro
(Leite et al., 2018)	Utilização de FANET para monitoramento de APA	Comparação entre modelos de propagação	Não abordou os algoritmos de roteamento
Roteamento em FANETs			
Correlatos	Método Utilizado	Objetivo	Problemática
(Vasiliev et al., 2014)	Uso do modelo de mobilidade Gauss-Markov	Avaliar os protocolos de roteamento tradicionais em FANETs	Não considera a autonomia de voo
(Khelif et al., 2018)	Mecanismo de roteamento de dados com base na localização	O posicionamento dos dispositivos UAVs	Não considera mudanças de topologia e nem autonomia de voo
(Nayyar, 2018)	Extensão do Protocolo OLSR, chamado P-OLSR	Comparar o P-OLSR com OLSR	Não houve comparação com outros protocolos existentes, além de não haver métricas de QoE para avaliá-lo.

(Kaur e Singh, 2018)	Algoritmo para eficiência energética	Reduzir o consumo de energia	A rede não é capaz de identificar novas rotas de maneira eficaz.
(Litvinov et al., 2018)	Levantamento de protocolos de roteamento	Discutir o uso de técnicas de otimização para melhorar o desempenho do roteamento	Não considera a autonomia de voo e nem métricas de QoE.
(Oubbati et al., 2017)	Discutir a comunicação salto a salto	Número de UAVs necessários para cobrir uma área	Não discute como alterações na topologia podem afetar a qualidade da transmissão.
(Radu et al., 2018)	Roteamento baseado em múltiplos caminhos	Provar a eficiência do protocolo MP-OLSR para o monitoramento de áreas de incêndio, a fim de aumentar as chances de resgate de sobreviventes.	Não considera a autonomia de voo.
(Yang e Liu, 2019)	Protocolo CHNN-DSR	Otimizar as rotas a fim de que se adaptem à alta velocidade dos nós da rede	Não utiliza métricas de QoE e QoS.

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

3.5 Considerações finais

Neste capítulo foi possível observar que, de acordo com a técnica empregada, são necessárias grandes bases de dados para realizar a classificação de imagens, bem como estudos de mudança no uso e cobertura da terra.

Outra problemática abordada diz respeito à aquisição de imagens para realização de estudos tanto de detecção de mudanças no uso e cobertura da terra, quanto para previsão de futuros cenários de LULC, devido à cobertura de nuvens.

Entre as várias alternativas para contornar tal problema, estão métodos matemáticos, de inteligência computacional e, também, a utilização de sensores

colocados em aeronaves, mais especificamente: redes aéreas formadas por drones - FANETs.

À luz do exposto, verificou-se a importância de uma ferramenta para estudo e previsão de mudanças no uso e cobertura da terra, que seja flexível o suficiente para utilizar tanto imagens de satélites quanto imagens aéreas, a fim de contornar o efeito causado pela cobertura de nuvens, e que não necessite de um histórico de imagens grande.

Diante disso, este trabalho propõe uma metodologia que aborda desde a aquisição de imagens, neste caso propondo como alternativa o uso de FANETs para minimização do efeito da cobertura de nuvens, até a previsão de mudanças no uso e cobertura da terra, com o emprego de autômatos celulares e cadeias de Markov, o que reduz a necessidade de extensas bases de dados. Esta metodologia é apresentada no capítulo a seguir.

4 MAPS: METHOD FOR ASSESSING PROJECTS OF SETTLEMENT

4.1 Considerações iniciais

A partir da necessidade de formação de recursos humanos na área de recuperação de áreas degradadas, o projeto “Desenvolvimento de Competências e Formação de Recursos Humanos em Recuperação de Áreas Degradadas em Projetos de Assentamentos em Áreas Amazônicas”, financiado pelo CAPES, propôs, entre outras coisas, uma metodologia capaz de analisar cenários de uso e cobertura da terra chamada de MAPS - *Methodology for Assessing Projects of Settlement*.

Essa metodologia, por meio do uso de autômatos celulares e cadeias de Markov, é capaz de prever cenários de uso e cobertura da terra, principalmente no que tange à conversão de floresta nativa em pasto, a fim de entender a dinâmica envolvida nesse fenômeno.

Este capítulo aborda a motivação para o desenvolvimento dessa metodologia, além de apresentar suas etapas e sua prova de conceito.

4.2 PRÓ-AMAZÔNIA: biodiversidade e sustentabilidade

Programa Pró-Amazônia: Biodiversidade e Sustentabilidade da CAPES, que teve como objetivo:

Estimular no país a realização de projetos de pesquisa e apoio nessas temáticas, utilizando-se de recursos humanos e de infraestrutura disponíveis em diferentes IES ou demais instituições enquadráveis nos termos do edital, possibilitando a produção de pesquisa e inovação associadas à iniciação à pesquisa e formação de doutores, bem como o apoio à realização de estágio Pós-Doutoral. Serão incentivados projetos que contemplem a participação de empresas sediadas na Região Norte.

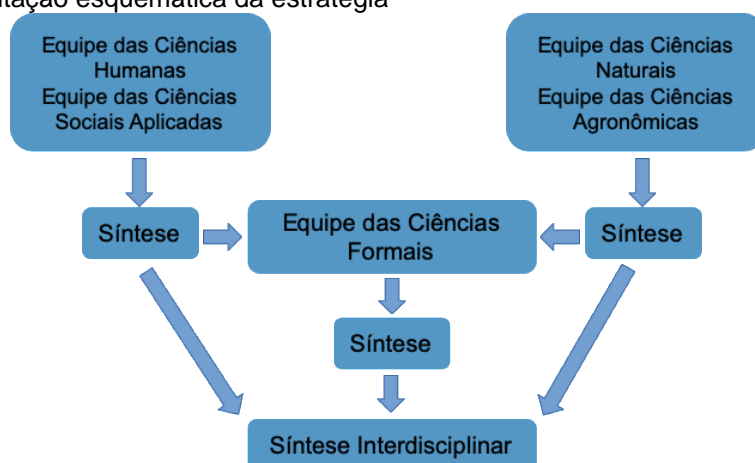
Iniciou-se em 2013. O Laboratório de Tecnologias Sociais, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará, associado ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas Territoriais e Sociedade da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, coordenou o projeto chamado

“Desenvolvimento de Competências e Formação de Recursos Humanos em Recuperação de Áreas Degradadas em Projetos de Assentamentos em Áreas Amazônicas”, financiado pelo Pró-Amazônia.

Além da formação de recursos humanos, o projeto tinha como um de seus objetivos o desenvolvimento de uma estratégia capaz de sintetizar conhecimentos de diversas áreas do conhecimento, como Agronomia, Pedagogia, Socioeconomia aplicada e Computação, a fim de identificar os porquês de sucessos e insucessos relacionados aos processos de recuperação de áreas degradadas, em Projetos de Assentamentos na região amazônica, mais especificamente, nos municípios de Marabá, Parauapebas, Canaã do Carajás, Eldorado do Carajás, Água Azul do Norte e Curionópolis, todos localizados nas regiões Sul e Sudeste do estado do Pará.

A Figura 7 apresenta, de forma esquemática, a ideia geral da estratégia proposta para ser desenvolvida no Pró-Amazônia. É possível perceber que as ciências formais, nas quais está inserida a computação, eram responsáveis por concentrar as sínteses geradas pelas demais áreas, com o objetivo de extrair conhecimento, por meio de ferramentas estatísticas e de inteligência computacional.

Figura 7 – Representação esquemática da estratégia



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Nesse contexto, o grupo de computação propôs uma metodologia fim a fim, chamada MAPS – *Methodology for Assessing Projects of Settlement*, para analisar mudanças no uso e cobertura da terra nos projetos de assentamentos contidos na área de interesse. Essa metodologia é apresentada a seguir.

4.3 Methodology for Assessing Projects of Settlement - MAPS

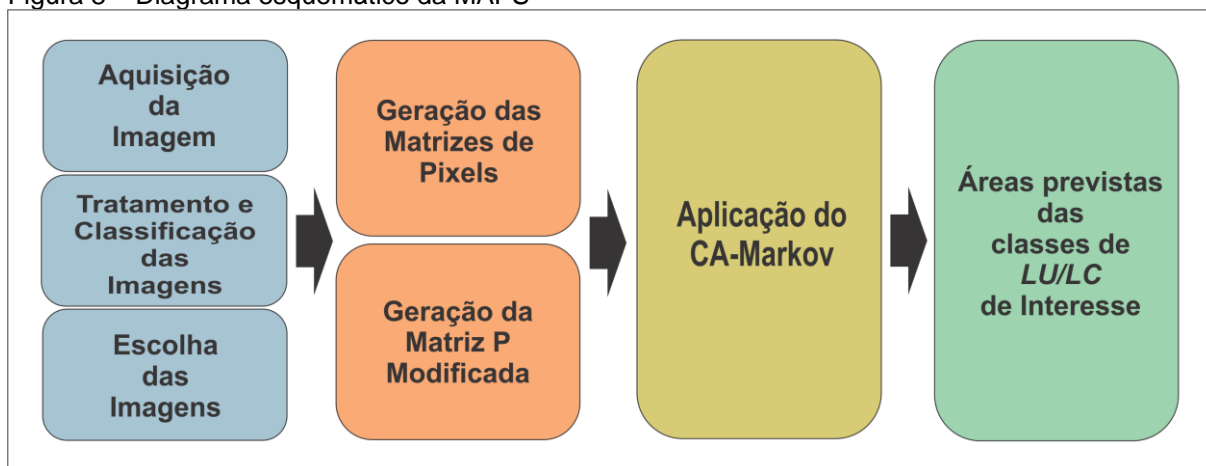
Com o propósito de prever cenários de uso e cobertura da terra em áreas de assentamento na Amazônia, decidiu-se propor e avaliar a eficiência de uma abordagem utilizando, de forma conjunta, autômatos celulares e cadeias de Markov - CA-Markov, porém de uma forma diferente daquelas tipicamente apresentadas na literatura especializada, como em (HALMY *et al.*, 2015) , (YANG; ZHENG; CHEN, 2014), (MONDAL *et al.*, 2016), (AHMED; AHMED, 2012), (SINGH *et al.*, 2015), em que se gera a matriz de probabilidade de transição P com base apenas na ocorrência ou não de mudança nas classes de pixel entre duas imagens dadas.

Na abordagem apresentada nesta tese, além dessa verificação, as classes dos pixels vizinhos também são consideradas, ou seja, os estados da cadeia contemplam tanto a classe do pixel que está sendo verificado, quanto a de seus vizinhos. Dessa forma, a matriz P passa conter informações espaciais. Assim, além do aspecto temporal, inerente à abordagem de Markov (BOLCH *et al.*, 2006), existe também um componente espacial.

A função de transição proposta para o AC também difere daqueles trabalhos que empregam técnicas para determinar o nível de influência da vizinhança, como (RIMAL *et al.*, 2018), (SOARES-FILHO; PENNACHIN; CERQUEIRA, 2002), (MAS; SOARES-FILHO; RODRIGUES, 2015), (AHMED; AHMED, 2012). Na abordagem proposta, são consideradas as informações do pixel, de seus vizinhos e probabilidades descritas na matriz de probabilidade da cadeia de Markov.

Como resultado, propõe-se uma metodologia original para dar suporte à análise de mudanças no uso e cobertura da terra, em especial a degradação da floresta nativa, por meio da previsão de cenários, baseado em duas imagens de satélite. A Figura 8 apresenta de forma esquemática a metodologia proposta, que, a seguir, será detalhada.

Figura 8 – Diagrama esquemático da MAPS



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

4.3.1 Aquisição das Imagens

Essa fase corresponde ao processo de definição dos requisitos mínimos que a(s) imagem(ns) deve(m) conter para ser(em) selecionada(s) para o estudo. Tal definição depende das características da região em que a área de interesse está inserida e dos objetivos do estudo.

Um dos requisitos é a disponibilidade das imagens, que leva em consideração, principalmente, quais satélites capturam imagens da região de interesse, assim como quais as resoluções temporais, espaciais e espectrais correspondentes, ou seja, é importante realizar um levantamento da melhor combinação entre a oferta de recursos e as necessidades do estudo.

Outro fator, que se deve ter atenção, é o nível da cobertura de nuvens na região, já que, dependendo do tamanho da área de interesse, a qualidade da imagem poderá ser afetada pela ocorrência de nuvens e sobras de nuvens.

Todos os fatores anteriormente destacados influenciam diretamente na escolha do intervalo de tempo entre as imagens que irão compor a série histórica, muitas vezes limitando aos meses de menor índice pluviométrico.

Como a região de estudo desta tese está localizada em uma área com forte ocorrência de nuvens, sugere-se o uso de imagens aéreas, mais especificamente, de imagens capturadas por drones, em especial por redes *ad-hoc* aéreas, a fim de minimizar o inconveniente causado pelas nuvens.

4.3.1.1 Uso de FANETs

Nos últimos anos, tem havido um movimento na busca de novos mecanismos de comunicação sem fio, motivado pelo surgimento de novas tecnologias e pela possibilidade de utilização dessas tecnologias para o monitoramento de áreas de difícil acesso, ou que tenham passado por algum episódio de desastre ou catástrofe. Nesse contexto, surgiram as FANETs (*Flying Ad-Hoc Network*), que são um tipo de configuração de rede ad-hoc que consiste em veículos aéreos não tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles* - UAVs). Os UAVs são responsáveis por monitorar uma área específica, capturando imagens e enviando-as para uma estação-base terrestre (CRUZ, 2018) em um processo conhecido como comunicação UAV-to-Ground (U2G).

Com o uso de FANETs surgem novos desafios diversos daqueles experimentados pelas redes tradicionais cabeadas ou pelas redes sem fio infraestruturadas: 1- posicionar os UAVs da maneira mais apropriada para o monitoramento de regiões de interesse, minimizando custos e maximizando o desempenho da rede; 2- reduzir os efeitos negativos da alta mobilidade dos UAVs; 3- os protocolos de roteamento tradicionais não são capazes de lidar, de maneira eficiente, com as redes aéreas, principalmente as ad-hoc, devido a características como alta mobilidade dos nós e alterações de topologia.

Isso pode comprometer a comunicação entre os UAVs e o desempenho global da rede. Por isso, é importante definir uma estratégia que garanta a comunicação adequada nessas condições, fornecendo recursos que garantam, de forma inteligente, um desempenho satisfatório, reduzindo os efeitos dos desafios elencados (BURDAKOV; DOHERTY; HOLMBERG, 2018).

Outro ponto importante a ser considerado nos cenários de FANETs/UAVs é que a maioria dos dispositivos móveis tem uma autonomia média de voo de aproximadamente 30 minutos (PHANTOM, 2017) (MAVIC, 2019), devido à capacidade limitada da bateria. Esse fato é crítico, visto que um nó com baixa carga de bateria deixará de fazer parte da rede aérea, exigindo que a rede se autoconfigure, reestruturando e reorganizando sua topologia, evitando problemas que possam afetar a comunicação entre os dispositivos sem fio.

Diante disso, é necessário determinar e/ou prever quais dispositivos estão em situação crítica, em relação à autonomia de voo, para que seja possível minimizar os efeitos nocivos à qualidade da comunicação.

Os UAVs, a fim de realizar o monitoramento desejado, precisam ter acoplados a eles, sensores capazes de capturar imagens, em tempo real, de uma determinada área. Para garantir que as imagens estão sendo transmitidas com qualidade, é necessário avaliá-las do ponto de vista da percepção do usuário. Isso pode ser feito por meio de métricas de QoE (Qualidade da Experiência), em complementação às métricas tradicionais de QoS (Qualidade de Serviço), que avaliam medidas objetivas do ponto de vista da rede, como taxa de transferência e atraso, mas não refletem a experiência do usuário final com os fluxos de vídeo, nem a qualidade final do vídeo recebido. (WINKLER, 2005)

Como já mencionado, a autonomia de voo e a alta mobilidade dos nós são fatores que podem alterar, de forma drástica, a topologia da FANET. Por isso, é de fundamental importância a proposição um protocolo de roteamento, que, além de considerar esses fatores, promova uma interação entre eles e as mudanças de topológicas da rede, principalmente porque, atualmente, não existem protocolos de roteamento específicos para os cenários de redes ad-hoc aéreas, a não ser os tradicionais, como os protocolos AODV (*Ad-hoc On-Distance Vector*) e OLSR (*Optimized Link State Routing*) os quais não se mostram adequados e nem eficientes nesses cenários (ZHENG; SANGAIAH; WANG, 2018).

Levando em conta os inúmeros problemas encontrados nos cenários de FANETs, esta tese, como uma de suas contribuições, propõe um protocolo de roteamento adaptado e implementado, especificamente, para esses cenários, baseado em sistemas Fuzzy, a fim de fornecer o melhor caminho de comunicação entre os UAVs (um processo conhecido como comunicação UAV-to-UAV - U2U). O protocolo de roteamento proposto, descobrirá a melhor rota, com a melhor conexão e maior durabilidade, melhorando, assim, o desempenho da rede como um todo.

4.3.1.2 Protocolo de Roteamento Baseado em Sistema Fuzzy

Sistemas Fuzzy são amplamente utilizados em cenários dinâmicos, como em redes veiculares, terrestres ou aéreas, pois, devido a este comportamento, os valores são alterados e, conseqüentemente, são encontradas novas soluções para a rede. Este trabalho considera três métricas de entrada (variáveis de linguagem no Sistema Fuzzy): nível de mobilidade, autonomia de voo e RSSI.

O nível de mobilidade está vinculado à métrica de velocidade, que é uma medida importante, pois pode afetar a qualidade da comunicação/transmissão, pois indica a rapidez com que os UAVs estão voando e, conseqüentemente, altera a topologia da rede conforme a aproximação ou o distanciamento de um determinado UAV. Para esta variável foram definidos três valores linguísticos: velocidade baixa (faixa de 0 a 5 m/s), velocidade média (faixa de 4 a 13 m/s) e velocidade alta (quando a velocidade é superior a 11 m/s).

Outra métrica importante é a autonomia de voo, que está diretamente ligada à capacidade da bateria do dispositivo (UAV) e que implica tempo que o UAV terá para monitorar uma determinada região. Quanto maior a for a autonomia de voo, maior será o tempo em que a rota e a topologia da rede permanecerão ativas. Essa métrica é dividida em três valores linguísticos: intervalo baixo (intervalo de 0 a 600 segundos), intervalo médio (intervalo de 600 a 1200 segundos) e intervalo alto (mais de 1200 segundos).

A terceira e última métrica está vinculada à potência do sinal recebido, que está ligada à qualidade do sinal e é representada pelo RSSI. Quanto melhor o RSSI, melhor a comunicação entre dois ou mais UAVs. Inversamente, quanto pior o RSSI, pior será a qualidade do sinal entre dispositivos e pior será a comunicação entre eles. Nessa métrica, três valores linguísticos foram definidos para o RSSI (dBi): RSSI baixo (-125,1 a -102,1 dBi), RSSI médio (-111,1 a 63,1 dBi) e RSSI alto (quando o RSSI é maior que -71,1).

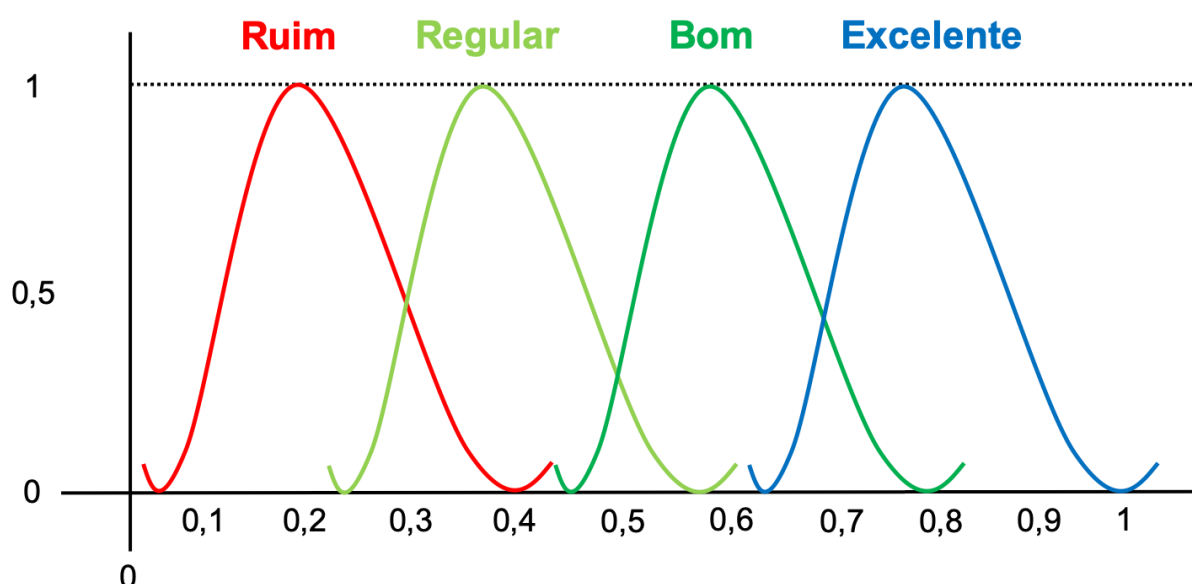
Com base no sistema Fuzzy e no conjunto de regras adotado, as entradas serão interpretadas e classificadas da seguinte forma: caminho TERRÍVEL, caminho REGULAR, caminho BOM e caminho EXCELENTE. Quando o UAV detecta um novo caminho/rota, ele fornece as variáveis de entrada coletadas, para o sistema Fuzzy

embarcado, que após a aplicação da equação de inferência e do processo de difusão, indica o nível de qualidade dos caminhos/rotas detectados, indicando o melhor para o processo de roteamento da FANET.

Neste trabalho, foi utilizado um fuzzyficador gaussiano devido à sua capacidade inerente de reduzir o ruído das variáveis de entrada.

Após 100 interações do processo de simulação, concluiu-se que o valor de 0,6 seria considerado bom ou excelente para os caminhos. Em certas situações, um valor de inferência pode fazer parte de dois ou mais conjuntos Fuzzy ao mesmo tempo (como 0,55). Nesse caso, a métrica que tem maior relevância, de acordo com a função de relevância, será decisiva na identificação do conjunto de saída (Figura 9).

Figura 9 – Saída do Sistema Fuzzy



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Para a implementação e construção deste sistema Fuzzy e após um conjunto de testes e simulações, concluiu-se que a comunicação ideal, entre UAVs, estaria localizada em um cenário com alta autonomia de voo, alta potência de sinal (RSSI) e baixo nível de mobilidade, pois nesse cenário/topologia a rota é mantida por mais tempo, fazendo com que a transmissão por mais tempo e com menos problemas de comunicação.

Caso o cenário ideal esteja distante, o sistema Fuzzy poderá buscar aqueles resultados que mais se aproximarem do contexto, tomando como base uma tabela de regras e a máquina de inferência, podendo, de forma dinâmica, realista e inteligente, tomar decisões.

O Quadro 2 mostra o conjunto total de regras do sistema Fuzzy. O Quadro 3 apresenta as regras que foram efetivamente adotadas. Por meio destas regras e, em conjunto com o mecanismo de inferência implementado, o sistema toma a decisão mais apropriada para selecionar a rota/caminho, que permanecerá ativo por mais tempo, dando prioridade aos caminhos EXCELENTE e BOM e muito raramente aos caminhos REGULAR e RUIM.

Quadro 2 – Sistema Fuzzy baseado em regras.

MOBILIDADE	AUTONOMIA DE VOO	RSSI	SAÍDA
BAIXO	BAIXO	BAIXO	RUIM
BAIXO	BAIXO	MÉDIO	REGULAR
BAIXO	BAIXO	ALTO	REGULAR
BAIXO	MÉDIO	BAIXO	REGULAR
BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	BOM
BAIXO	MÉDIO	ALTO	EXCELENTE
BAIXO	ALTO	BAIXO	REGULAR
BAIXO	ALTO	MÉDIO	BOM
BAIXO	ALTO	ALTO	EXCELENTE
MÉDIO	BAIXO	BAIXO	RUIM
MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	REGULAR
MÉDIO	BAIXO	ALTO	REGULAR
MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	REGULAR
MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	BOM
MÉDIO	MÉDIO	ALTO	EXCELENTE
MÉDIO	ALTO	BAIXO	REGULAR
MÉDIO	ALTO	MÉDIO	BOM
MÉDIO	ALTO	ALTO	EXCELENTE
ALTO	BAIXO	BAIXO	RUIM
ALTO	BAIXO	MÉDIO	RUIM
ALTO	BAIXO	ALTO	RUIM

ALTO	MÉDIO	BAIXO	RUIM
ALTO	MÉDIO	MÉDIO	REGULAR
ALTO	MÉDIO	ALTO	REGULAR
ALTO	ALTO	BAIXO	RUIM
ALTO	ALTO	MÉDIO	REGULAR
ALTO	ALTO	ALTO	REGULAR

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Quadro 3 – Regras Adotadas.

MOBILIDADE	AUTONOMIA DE VOO	RSSI	SAÍDA
BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	BOM
BAIXO	ALTO	MÉDIO	BOM
MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	BOM
MÉDIO	ALTO	MÉDIO	BOM
BAIXO	MÉDIO	ALTO	EXCELENTE
BAIXO	ALTO	ALTO	EXCELENTE
MÉDIO	ALTO	ALTO	EXCELENTE

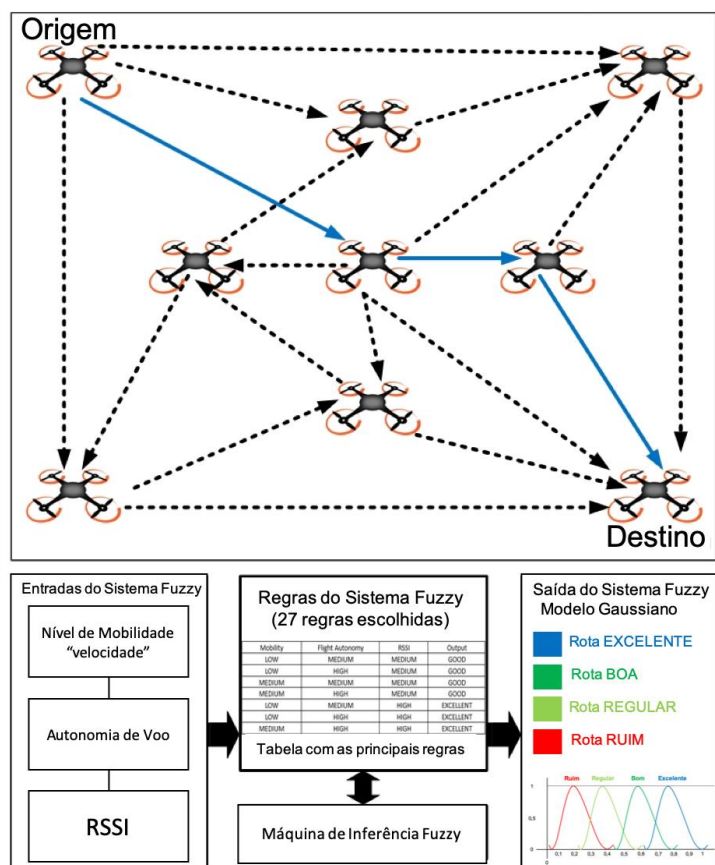
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

A decisão final é tomada de acordo com o conjunto de valor de inferência do sistema Fuzzy, que qualifica o maior valor de inferência para a escolha. Durante a implementação do Sistema Fuzzy, observou-se que valores de inferência iguais ou superiores a 0,6 representavam o melhor caminho nesses cenários e, portanto, aqueles com maior probabilidade de serem escolhidos (Figura 10).

No gráfico 3D a seguir, as áreas amarelas representam as rotas/caminhos mais prováveis de serem escolhidos, pois correspondem às rotas em que os UAVs têm alta autonomia de voo, baixa mobilidade e alto RSSI. A área do gráfico sombreado em verde corresponde à velocidade média, RSSI médio e autonomia de voo média e, nessa situação, há pouca chance de UAV ser escolhido como rota de comunicação. A última região, a de cor azul, representa um UAV com alta mobilidade, baixo RSSI e baixa autonomia de voo, nesse caso, o mesmo não será escolhido como a rota de comunicação (Figura 11).

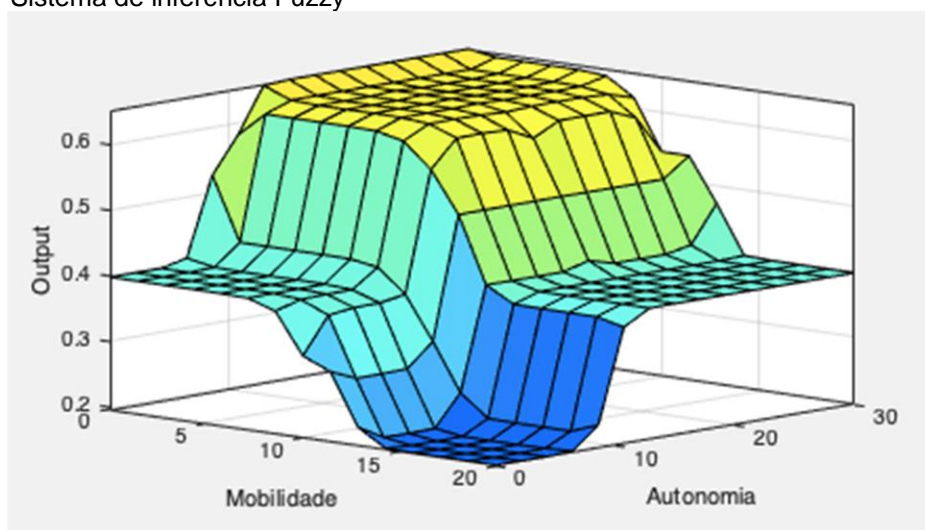
Ao final da fase de aquisição dos dados, tem-se como produto um conjunto de imagens que deverão passar, posteriormente, por um processo de eliminação de imperfeições e ruídos causados por fatores técnicos e ambientais.

Figura 10 – Representação esquemática do algoritmo de roteamento proposto



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 11 – Sistema de inferência Fuzzy



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

4.3.2 Tratamento e Classificação das Imagens

Após a obtenção das imagens, é necessário que as mesmas sejam tratadas, isto é, retificar distorções, restaurar dados da imagem, realçar as imagens visando melhorar a qualidade visual das mesmas, aumentando a distinção entre as características da cena. (IBGE, 2001)

Em seguida ao ajuste das imagens, é realizada a classificação das mesmas, ou seja, é feita a associação de cada pixel da imagem a um rótulo, de tal forma, que identifique um objeto real (tipo de vegetação, solo, corpo d'água, etc). (CROSTA, 2002). Esses rótulos são chamados de temas ou classes.

A classificação das imagens é fundamental para o processo de previsão proposto na tese.

4.3.3 Seleção de imagens de entrada

Nesta fase, duas imagens classificadas são selecionadas em ordem cronológica. Essas imagens servirão como entrada para o processo de previsão. Deve-se notar que o ano dos cenários projetado obedecerá ao intervalo de tempo entre as imagens de entrada, ou seja, se a imagem 1 é de 2000 e a imagem 2, de 2002, os valores projetados podem ser 2004, 2006, 2008 e assim por diante.

4.3.4 Geração das Matrizes de Pixels

Cada uma das duas imagens de entrada é transformada em uma matriz de pixels, na qual cada elemento a_{ij} corresponde a um pixel da imagem selecionada, e seu valor indica a classe representada pelo pixel (floresta, pastagem ou outros).

4.3.5 Geração da Matriz de Probabilidade de Transição da Cadeia de Markov Modificada

A Matriz P da Cadeia de Markov é calculada observando as matrizes de pixels obtidas na primeira parte. Basicamente, é calculado o número total de transições de

pixels do estado i (na primeira matriz de pixels) para o estado j (na segunda matriz de pixels). Então, a probabilidade de transição do estado i para o estado j é calculada como a frequência relativa de transições de i para j , pelas transições totais de i . Uma definição importante nesta parte é que as informações (variáveis) definem cada estado da cadeia de Markov. Como a ideia é que a Cadeia de Markov inclua aspectos espaciais do processo, cada estado é uma dupla,

$$\begin{aligned}
 i &= (c, n_0, n_1, \dots, n_M) | & (6) \\
 c &= \{0, 1, \dots, M\} \\
 n_m &= \{0, 1\} \\
 \sum n_m &> 1
 \end{aligned}$$

onde c refere-se à classe a qual o pixel pertence, n_m indica se há vizinhos ou não em uma determinada classe m , e M é o número total de classes - 1. n_m assume 1 quando um pixel tem vizinhos na classe m , e 0 quando não há vizinhos nesta classe. Assim, os estados na matriz são todas as combinações possíveis entre c e n_i , removendo os estados em que todos os n_m são 0.

4.3.6 Aplicação do CA-Markov

Dada uma matriz de pixels do ano k (gerada a partir de uma imagem do ano k), o CA altera o valor de cada pixel usando uma função de transição probabilística a partir das probabilidades da Matriz P da Cadeia de Markov, gerando a matriz de pixels do ano $k + 1$. A execução do CA pode ser executada novamente usando a matriz de pixels do ano $k + 1$ como entrada para calcular a matriz de pixels do ano $k + 2$ e assim por diante. O pseudocódigo do CA é apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Pseudocódigo do Autômato Celular

```
Input = MapAfter, mapBefore, coordinates
```

```

1. arrayAfter <- (mapAfter,coordinates)
2. arrayBefore <- (mapBefore,coordinates)
3. transition_matrix <- compare[arrayAfter,arrayBefore]
4. index <- 1
5. repeat
6.   prediction <- CalcPredict(transition_matrix, MapAfter)
7.   CalcPredict{
8.     for each pixel in MapAfter
9.       Neighbor <- getClassNeighbors(pixel)
10.      vet_NeighborProbability <- transition_matrix(Neighbor,1:end)
11.      classPixelElected <- Roulette(vet_NeighborProbability)
12.      MapAfter.setClassPixel(classPixelElected[0])
13.    end-for
14.  }
15. index = index + 1
16. until forest_area equal zero

```

```
output = prediction
```

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

4.3.7 Áreas previstas pelo CA-Markov

Avaliação dos Resultados - Das matrizes de pixels dos anos $k + 1$, $k + 2$,... obtidas pela execução do CA, é calculada a proporção de pixels em cada classe em cada ano. Como cada pixel representa a mesma dimensão do terreno, a área total de cada classe pode ser calculada diretamente. Além disso, a área total que tenha mudado de classe (por exemplo, por desmatamento), de um ano para outro, pode ser calculada. Os resultados são avaliados e, caso necessário, a matriz de probabilidade de transição pode ser recalculada (por exemplo, aumentando ou diminuindo a quantidade de vizinhos observada); ou o CA-Markov ajustado (por exemplo, considerando um estado de espaço diferente, com mais classes); ou até mesmo outras imagens de entrada podem ser selecionadas. Todos os dados obtidos devem ser armazenados para uso futuro.

4.4 Considerações finais

Este capítulo apresentou uma metodologia concebida para realizar a análise de mudanças no uso e cobertura da terra, em áreas de projetos de assentamentos da reforma agrária, em municípios localizados das regiões sul e sudeste do estado do Pará.

A metodologia está baseada no uso conjunto de autômatos celulares e cadeias de Markov, que, a partir de duas imagens, sejam elas de satélite ou aéreas, para prever possíveis cenários, especialmente, em relação à degradação da floresta nativa.

Diferentemente de outras implementações de CA-Markov, a nossa utiliza as informações da vizinhança na própria matriz de probabilidade de transição, incorporando ao processo de previsão, o viés espacial.

Na fase de aquisição de imagens, é proposta a utilização de FANETs com o objetivo de minimizar os efeitos de cobertura de nuvens nas áreas de interesse. Neste contexto, percebeu-se a necessidade prévia de garantir um melhor desempenho da rede, por isso, foi proposto um algoritmo de roteamento, a fim de lidar com as características inerentes de uma rede aérea *ad-hoc*.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Considerações iniciais

Para que se verifique a aplicabilidade da metodologia proposta, foi realizada uma prova de conceito, que foi levada a cabo, por meio da previsão de áreas de floresta e de pastagem, dos projetos de assentamento localizados na região de Marabá, Estado do Pará.

5.1.1 Algoritmo de roteamento proposto

Para avaliação do protocolo proposto, foi realizada uma comparação de seu desempenho com o dos algoritmos AODV (protocolo reativo) e OLSR (protocolo proativo). Os resultados foram obtidos por simulação, utilizando o simulador de rede ns-2 e uma aplicação multimídia para avaliar a qualidade do vídeo. O vídeo utilizado foi o "Sintel", de alta definição (HD 1280 x 7200p), com 1200 quadros.

O modelo de propagação, utilizado nas simulações, foi o Shadowing, por ser mais realista, em relação à atenuação de sinal, do que os modelos de espaço livre e o Two Ray Ground (modelos de propagação disponíveis no ns-2). O simulador não suporta cenários tridimensionais, portanto, supõe-se que os UAVs estejam em alturas semelhantes e com linha de visada. O Quadro 4 mostra os parâmetros de simulação para cenários com 10 UAVs com mobilidade aleatória (Random Way Point) e com velocidade variando de 2m/s a 20m/s em uma área de 200mx200m.

Devido à mobilidade aleatória dos UAVs, os mesmos podem voar mais próximos ou mais distantes uns dos outros, assim como podem voar de forma mais lenta ou mais rápida. Essas variações fazem com que a topologia da rede se altere, exigindo uma resposta rápida e eficiente dos protocolos de roteamento, sob pena de ter seu desempenho comprometido.

A troca frequente de mensagens de controle pode garantir informações mais precisas para o roteamento, no entanto, gera um maior consumo de energia, o que reduz a autonomia dos nós. Por esse motivo, esta tese propõe um protocolo de

roteamento específico para redes FANET, no qual informações da potência do sinal recebido (RSSI), do nível de mobilidade e, em particular, a autonomia de voo de cada UAV são utilizados como métricas de tomada de decisão, a fim de garantir níveis de QoS e QoE para a rede.

Quadro 4 – Parâmetros de simulação do NS-2

Drones	10
Tecnologia de Acesso	IEEE 802.11g
Modelo de Propagação	Shadowing
Tipo de Mobilidade	Random Waypoint
Query	Droptail
Número de Simulações	100
Frequência	2.4 Ghz
Área	200m x 200m

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

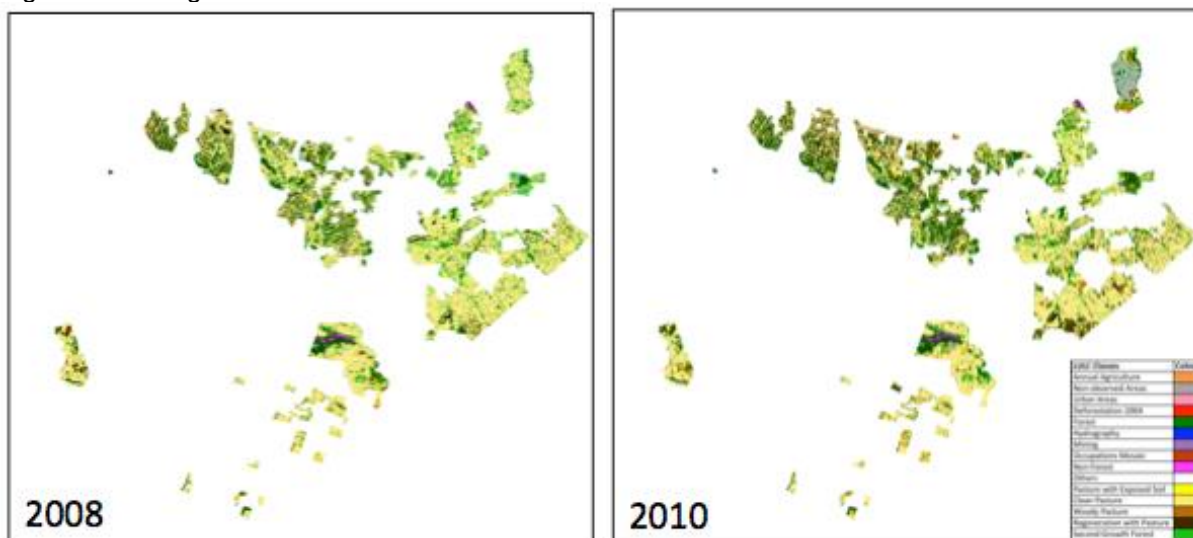
5.1.2 Uso do CA-Markov

Para a realização desta prova de conceito, adotou-se imagens de satélite, já que para o caso das FANETs, optou-se, primeiramente, por equalizar a rede em si.

As duas imagens de entrada foram obtidas no portal do Projeto TerraClass do INPE. Deve-se acrescentar que essas imagens são imagens oficiais do governo brasileiro e já foram classificadas.

Antes de usar essas imagens, elas foram tratadas de tal forma a conter apenas a área de interesse, conforme mostrado na Figura 13. Depois disso, ambas foram transformadas em matrizes de pixels, para que a matriz P de Markov pudesse ser gerada, considerando as informações da vizinhança de cada pixel. As imagens utilizadas correspondem aos anos de 2008 e 2010. Com o objetivo de concentrar o estudo, principalmente na conversão de floresta em pasto, optou-se por agrupar as classes do TerraClass em apenas três: Floresta, Pasto (agrupando valores de todos as classes de pasto) e Outros (agrupando as demais classes).

Figura 13 – Imagens de Entrada



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

A matriz de probabilidade (Quadro 5) captura a tendência de desmatamento dentro dos assentamentos, considerando o intervalo de 2 anos.

Quadro 5 – Matriz de probabilidade de transição (P)

	[0, 0, 0, 1]	[0, 0, 1, 0]	[0, 0, 1, 1]	[0, 1, 0, 0]	[0, 1, 0, 1]	[0, 1, 1, 0]	[0, 1, 1, 1]	[1, 0, 0, 1]	[1, 0, 1, 0]	[1, 0, 1, 1]	[1, 1, 0, 0]	[1, 1, 0, 1]	[1, 1, 1, 0]	[1, 1, 1, 1]	[2, 0, 0, 1]	[2, 0, 1, 0]	[2, 0, 1, 1]	[2, 1, 0, 0]	[2, 1, 0, 1]	[2, 1, 1, 0]	[2, 1, 1, 1]
[0, 0, 0, 1]	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02
[0, 0, 1, 0]	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02
[0, 0, 1, 1]	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[0, 1, 0, 0]	4,29E-06	3,58E-06	7,15E-07	8,92E-01	1,28E-02	1,11E-02	1,57E-04	0	3,17E-02	7,27E-04	7,15E-07	7,15E-07	1,19E-02	1,45E-04	2,48E-02	0	7,51E-04	0	1,39E-02	0	1,62E-04
[0, 1, 0, 1]	1,75E-04	5,44E-04	6,41E-04	0	5,65E-01	3,08E-01	3,98E-02	0	2,13E-02	1,50E-02	0	0	6,33E-03	3,47E-03	1,38E-02	0	1,51E-02	0	5,02E-03	0	5,57E-03
[0, 1, 1, 0]	4,76E-05	1,07E-03	8,99E-04	0	3,85E-02	7,81E-01	1,91E-02	0	7,25E-02	1,03E-03	0	0	1,44E-02	1,85E-04	7,27E-03	0	5,03E-02	0	1,87E-03	2,98E-05	1,21E-02
[0, 1, 1, 1]	8,82E-05	1,56E-03	2,62E-03	0	4,60E-02	2,70E-01	5,71E-01	0	2,67E-02	2,42E-02	0	0	4,35E-03	3,41E-03	4,32E-03	0	3,68E-02	0	1,18E-03	0	7,79E-03
[1, 0, 0, 1]	0	0	0	0	0	0	0	7,50E-01	0	0	0	0	0	0	2,50E-01	0	0	0	0	0	0
[1, 0, 1, 0]	0	0	0	0	0	0	0	8,19E-07	9,13E-01	7,30E-03	0	0	0	0	7,31E-02	2,23E-05	6,28E-03	0	0	0	0
[1, 0, 1, 1]	0	0	0	0	0	0	0	7,30E-05	2,99E-01	6,18E-01	0	0	0	0	7,35E-02	5,21E-06	8,91E-03	0	0	0	0
[1, 1, 0, 0]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[1, 1, 0, 1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[1, 1, 1, 0]	0	0	0	0	0	0	0	5,79E-06	7,27E-02	5,26E-02	0	1,33E-04	8,09E-01	1,56E-02	3,31E-03	0	4,29E-03	0	3,59E-02	1,45E-04	6,12E-03
[1, 1, 1, 1]	0	0	0	0	0	0	0	0	2,94E-02	6,66E-02	0	3,25E-04	2,83E-01	5,64E-01	2,46E-03	0	4,01E-03	0	4,25E-02	1,08E-04	7,53E-03
[2, 0, 0, 1]	0	0	0	0	0	0	0	8,41E-05	3,13E-01	6,15E-02	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,66E-01	8,70E-05	5,96E-02	0	0	0	0
[2, 0, 1, 0]	0	0	0	0	0	0	0	0	1,43E-01	0	0	0	0	0	2,86E-01	4,29E-01	1,43E-01	0	0	0	0
[2, 0, 1, 1]	0	0	0	0	0	0	0	7,67E-06	2,88E-01	3,20E-02	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,77E-02	2,81E-04	6,02E-01	0	0	0	0
[2, 1, 0, 0]	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02
[2, 1, 0, 1]	0	0	0	0	0	0	0	5,61E-06	2,06E-02	1,72E-02	0	1,85E-04	3,24E-01	3,73E-02	1,12E-02	5,61E-06	1,65E-02	0	5,29E-01	7,47E-04	4,28E-02
[2, 1, 1, 0]	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02
[2, 1, 1, 1]	0	0	0	0	0	0	0	0	2,35E-02	2,16E-02	0	2,00E-05	2,61E-01	2,23E-02	2,58E-03	4,00E-05	4,03E-02	0	4,86E-02	7,40E-04	5,80E-01

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Para validar o modelo, foram previstas as áreas, de cada classe, para os anos de 2012 e 2014. Esses valores foram comparados com os valores das imagens originais, dos mesmos anos. O erro relativo foi calculado, entre os valores previstos das áreas de floresta e pastagem e os valores reais das imagens existentes. Esses valores de erro são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Erro relativo entre os valores reais e os previstos

Classes	2012	2014
	(%)	(%)
Floresta	0,0002914341595730083	0,001431533625530219
Pasto	0,001548975146534642	0,0013983944906488842
Outros	0,003251634005921135	0,0027733000548922975

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

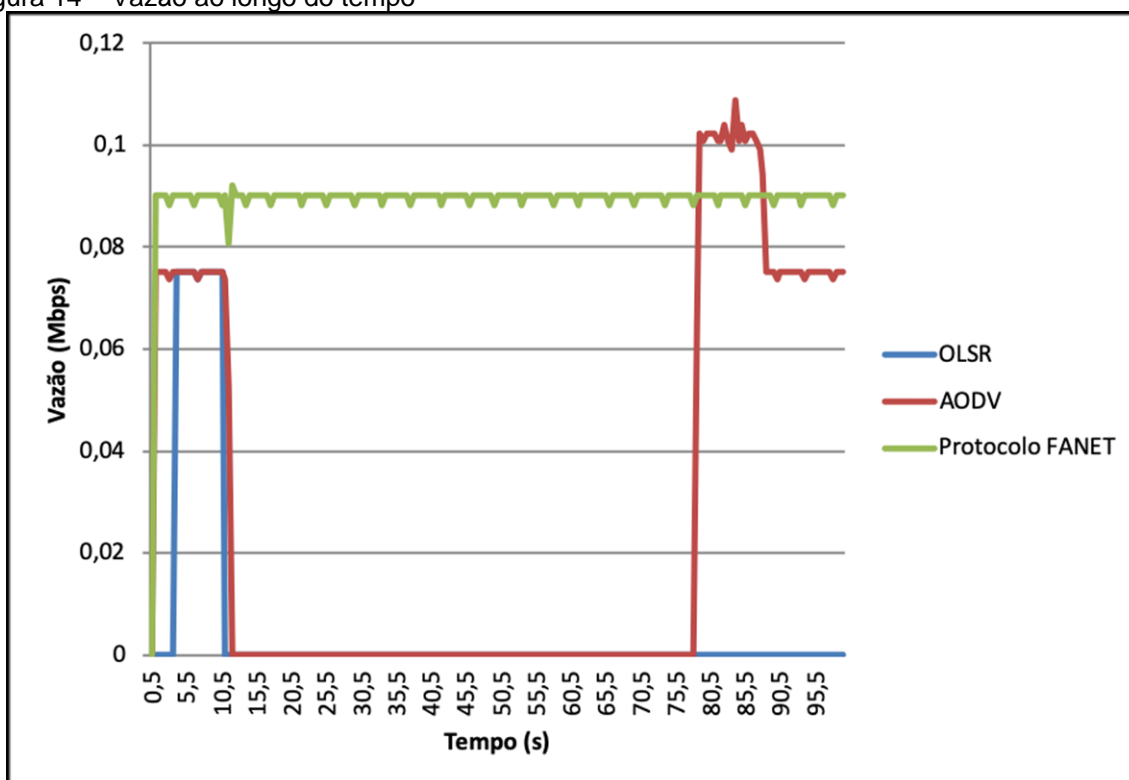
5.2 Resultados e discussões

5.2.1 Protocolo de roteamento proposto

O FANET Adaptive Protocol superou os demais protocolos, como mostra a Figura 14. Os protocolos AODV e OLSR, devido às alterações na topologia da rede, não atualizaram suas tabelas de roteamento de forma adequada e foram incapazes de manter uma rota ativa e, conseqüentemente, os dois protocolos interromperam suas transmissões durante parte da simulação. Diferentemente, o protocolo proposto atualizou sua tabela de roteamento de maneira rápida e eficiente, mantendo sempre uma rota ativa para transmissão e, conseqüentemente, evitando a interrupção da conexão.

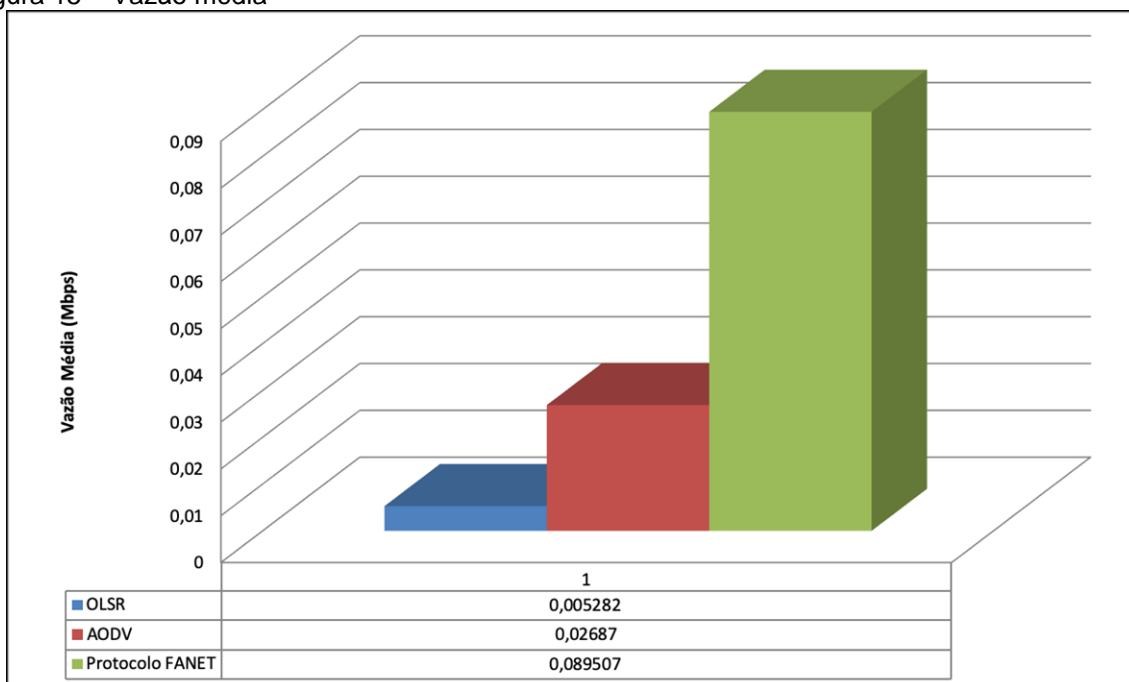
A média da taxa de transferência também mostra que o FANET *Adaptive Protocol* teve um desempenho melhor quando comparado aos protocolos AODV e OLSR. O protocolo de roteamento proposto apresentou desempenho aproximadamente 300% melhor que os outros dois protocolos, como mostra a Figura 15.

Figura 14 – Vazão ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 15 – Vazão média

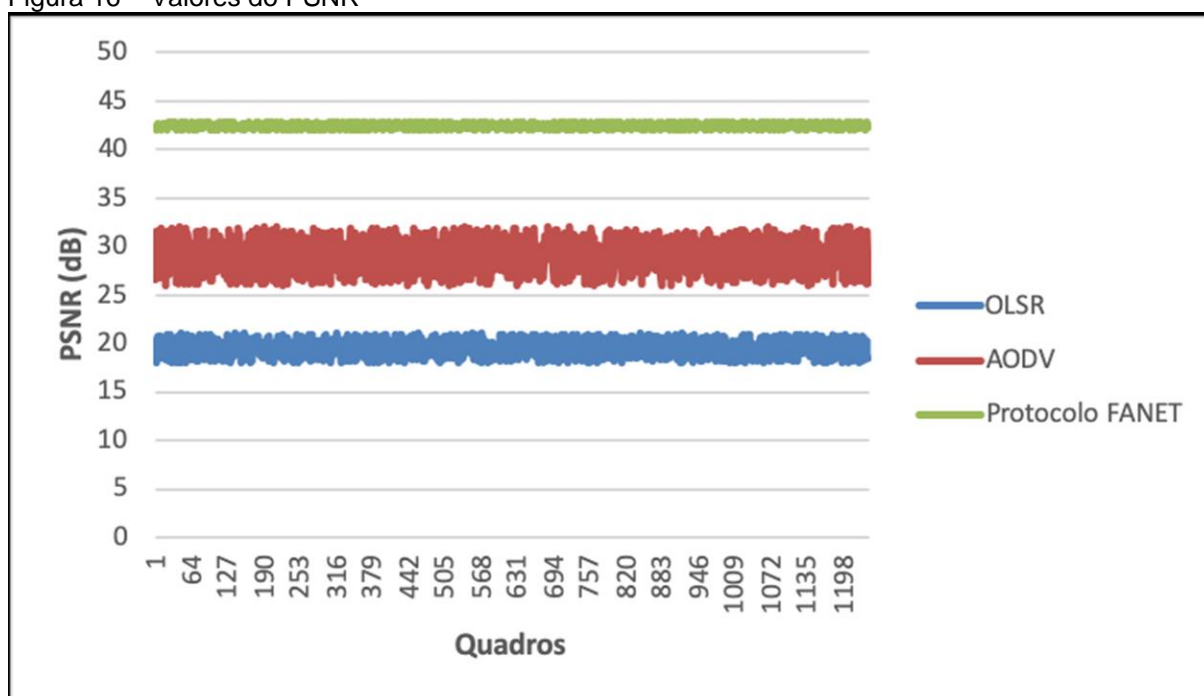


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Além de avaliar o protocolo proposto com métricas de Qualidade de Serviço (QoS), este trabalho também avaliou o protocolo, por meio de métricas de Qualidade de Experiência (QoE).

As três principais métricas de QoE utilizadas foram a relação sinal-ruído de pico (*Peak Signal-to-Noise Ratio* - PSNR), índice de similaridade estrutural (*Structural Similarity* - SSIM) e métrica de qualidade de vídeo (*Video Quality Measurement* - VQM). O PSNR avalia a relação sinal-ruído do vídeo considerando recursos como brilho, ruído e cor. A Figura 16 mostra que o protocolo OLSR teve uma média PSNR de 18dB (classificado como vídeo ruim), o protocolo AODV teve uma média PSNR de 28dB (classificado como vídeo normal) e o FANET Adaptive Protocol teve uma PSNR média de 42dB (classificado como excelente vídeo).

Figura 16 – Valores do PSNR

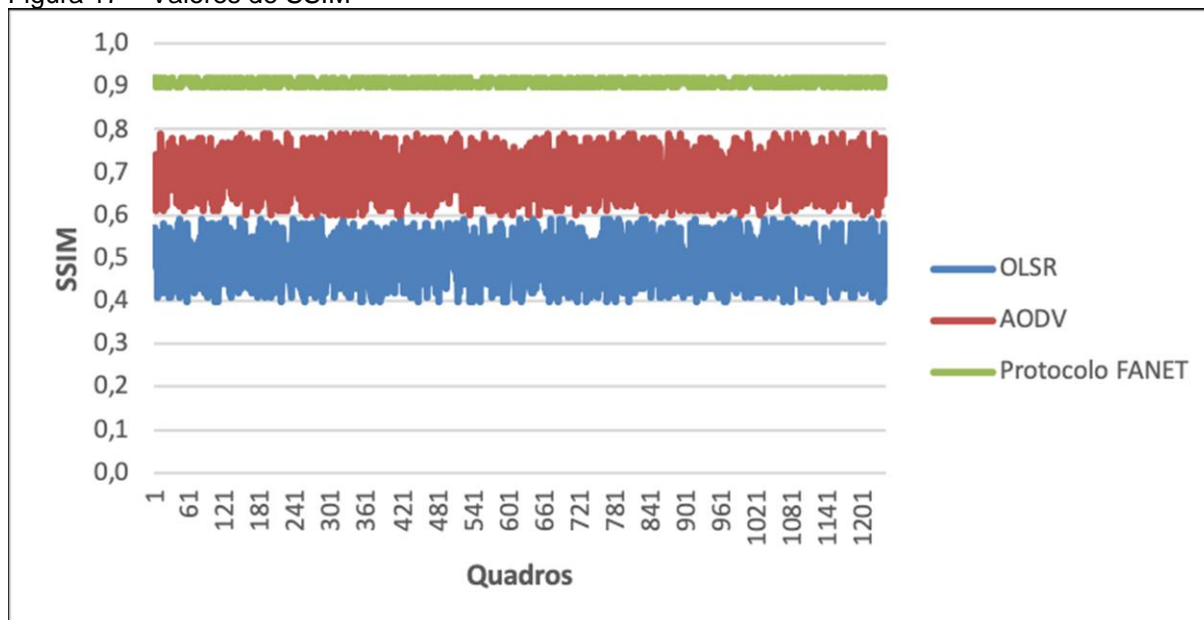


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

O Protocolo proposto também superou o OLSR e o AODV quando avaliado usando a métrica SSIM. A métrica avalia o vídeo considerando recursos como brilho, cor e contraste. A métrica SSIM tem uma escala de valor de 0 a 1. Quanto mais próximo do valor 1, melhor a qualidade do vídeo. O protocolo OLSR teve uma média de SSIM de 0,43 (considerado um vídeo ruim), o protocolo AODV teve uma média de SSIM de

0,61 (considerado um vídeo comum) e o protocolo adaptativo da FANET teve um SSIM médio de 0,91 (considerado um excelente vídeo), como mostrado na Figura 17.

Figura 17 – Valores de SSIM

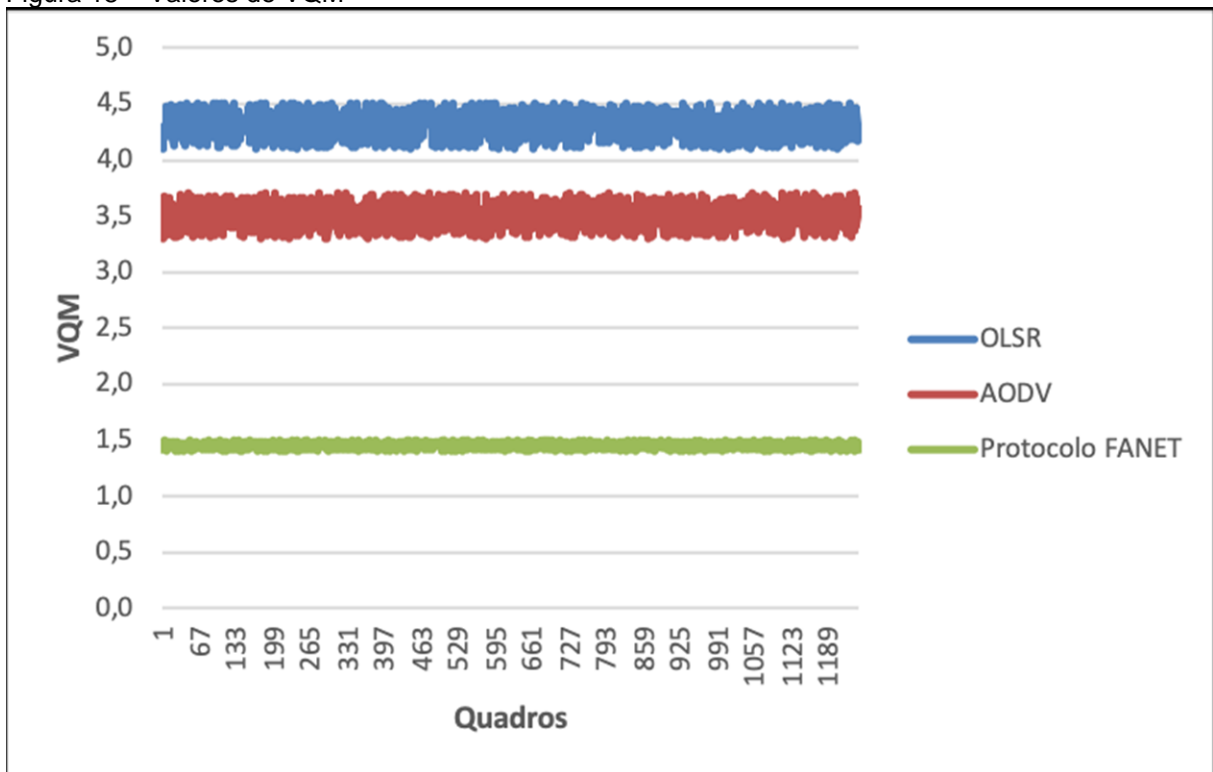


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

A comparação entre os três protocolos também foi feita usando a métrica VQM, que mostrou a superioridade do FANET *Adaptive Protocol*. A métrica VQM tem uma escala de 0 a 5; nesse caso, quanto mais próximo de 0, melhor a qualidade do vídeo. A métrica avalia o vídeo considerando recursos como cor, brilho, intensidade e distorção de quadro. O protocolo OLSR teve uma média de VQM de 4,1, o protocolo AODV teve uma média de VQM de 3,3 e o Protocolo Adaptativo FANET teve uma média de VQM de 1,4, como mostra a Figura 18.

Esta tese também avaliou os protocolos, comparando visualmente os quadros recebidos, usando o MSU *Video Quality Measurement Tool* (MSU, 2016). A comparação visual dos quadros transmitidos por cada protocolo, também mostrou melhor desempenho do FANET *Adaptive Protocol*. A Figura 19 mostra um quadro de vídeo transmitido pelo protocolo OLSR no qual é possível observar que o quadro está distorcido e possui falhas de pixel.

Figura 18 – Valores de VQM



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 19 – Quadro recebido pelo OLSR



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

A Figura 20 mostra um quadro de vídeo transmitido pelo protocolo AODV, no qual houve uma melhoria na qualidade, quando comparado ao quadro anterior. No entanto,

o vídeo não pode ser classificado como de excelente qualidade, pois possui pequenas distorções e falhas e, portanto, é classificado como um vídeo de qualidade regular.

Figura 20 – Quadro recebido pelo AODV



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

O quadro de vídeo transmitido pelo FANET Adaptative Protocol tem uma qualidade melhor, quando comparado aos protocolos AODV e OLSR. A Figura 21 mostra que o quadro não possui distorções ou falhas sendo classificado como um vídeo de excelente qualidade.

Figura 21 – Quadro recebido pelo Protocolo de roteamento baseado em sistema Fuzzy.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

5.2.2 Uso do CA-Markov

Aplicando o método proposto e adotando os valores de desmatamento (Tabela 2), pôde-se caracterizar o uso e cobertura da terra. Adicionalmente, foi calculada a emissão CO₂e (CO₂ equivalente) referente à previsão de desmatamento dessas mesmas áreas. Os valores calculados foram comparados aos obtidos com base na média da Amazônia Legal.

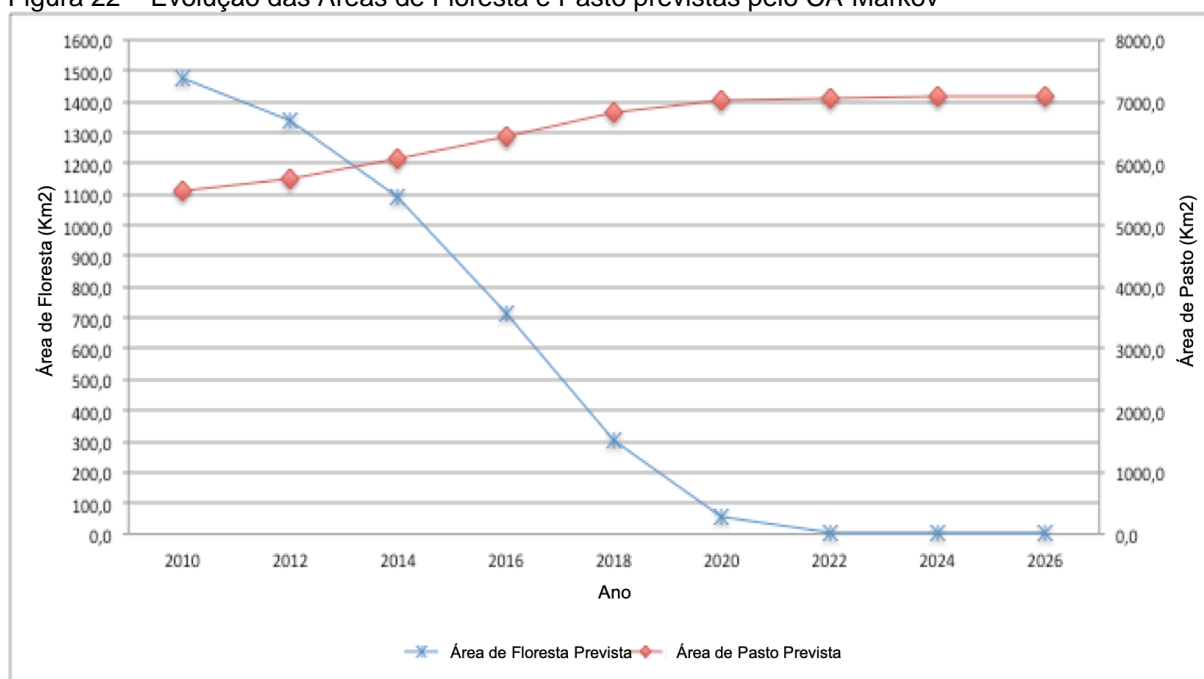
A Figura 22 mostra o padrão de evolução das áreas de floresta e pastagem, em Km², dos assentamentos, projetadas pelo CA-Markov proposto. Pode-se notar, na figura, que há basicamente uma conversão de floresta nativa para pastagem, visto que a classe Outros (Tabela 2) permaneceu praticamente inalterada. Esse comportamento está em conformidade com o que é discutido na literatura especializada: (WALKER; MORAN; ANSELIN, 2000), (MERTENS *et al.*, 2002), (RIVERO *et al.*, 2009), (BARONA *et al.*, 2010), (ÂNGELO; SÁ, 2007), e (GODAR *et al.*, 2002).

Tabela 2 – Valores previstos para as áreas de assentamentos, dentro da área de estudo

Ano	Área de Floresta (Km²)	Área de Pasto (Km²)	Área de Outros (Km²)
2010	1.476,4	5.555,4	1.593,5
2012	1.336,3	5.766,9	1.522,0
2014	1.088,5	6.070,1	1.466,7
2016	714,6	6.442,7	1.468,0
2018	302,9	6.813,06	1.509,3
2020	55,2	7.029,6	1.540,4
2022	6,2	7.071,5	1.547,6
2024	4,837	7.072,59	1.547,860
2026	4,836	7.072,6	1.547,861

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 22 – Evolução das Áreas de Floresta e Pasto previstas pelo CA-Markov



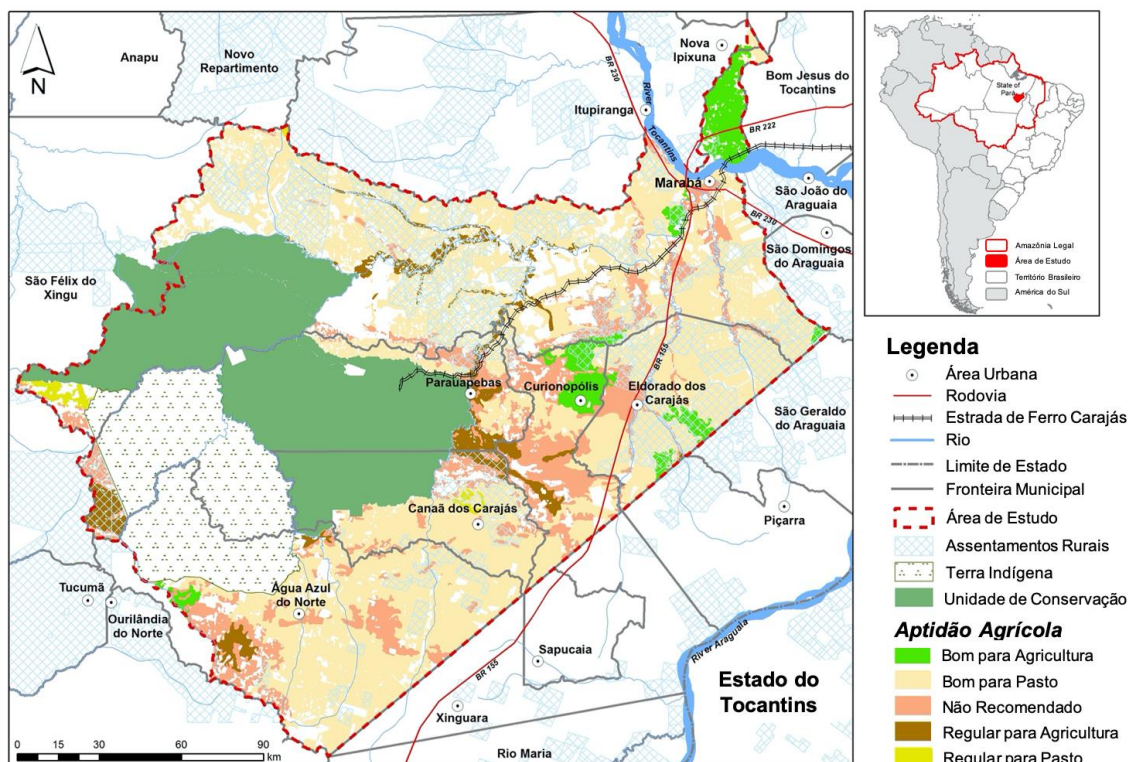
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

A adoção de segmentação baseada na apropriação da terra, devido ao fundamento social (reforma agrária para projetos de assentamento), sugeriu que havia um vínculo forte entre a degradação da cobertura florestal e o crescimento de áreas de pastagens. Essa relação pode ser atribuída às condições que prevaleciam antes dos assentamentos, como a capacidade do solo de resistir aos efeitos do gado, mas não ser adequado às práticas agrícolas.

Isso é fato em quase todos os assentamentos estudados. Os Governos implantaram os assentamentos em áreas cujo foco era a pecuária, em torno de 80% (EMBRAPA, 2017b). A literatura demonstra que fatores econômicos priorizam a pecuária em detrimento da floresta.

Na área de estudo, 14.106 famílias foram assentadas em 126 assentamentos rurais. A aptidão do solo, nas áreas estudadas, está classificada da seguinte forma: 70,9% são classificados como “bons para o gado”, 0,5% “regulares para o gado”, 5,4% “regular para a agricultura”, 17,8% “não recomendado” e apenas 5,4% são classificados como “bom para a agricultura” (EMBRAPA, 2017b). Este cenário pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 – Mapa de Aptidão Agrícola e do Uso da Terra na Região de Estudo



Fonte: Monteiro, et al (2016); INCRA (2015); TerraClass (2012); e Embrapa / CPATU, 2016. Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000. Base Cartográfica IBGE-2015.

Com relação aos estudos empíricos desta pesquisa, eles confirmaram a que a degradação da floresta está ligada, entre outras coisas a: gado bovino (REIS; MARGULIS, 1991; MARGULIS, 2003; MERTENS *et al.*, 2002; KAIMOWITZ *et al.*, 2004); linhas de crédito (ALENCAR *et al.*, 2004; FEARNSIDE, 2005; RIVERO *et al.*, 2009) e condições econômicas (MARGULIS, 2001).

Nesse contexto, a disponibilidade de crédito do governo para aumentar o rebanho bovino tem um impacto direto na degradação da cobertura florestal. Tal fato é somado ao problema da emissão de CO₂e, causado pelas práticas de uso da terra e pela degradação da floresta.

Há um impacto significativo no clima quando a floresta é removida, pois essas ações levam à liberação de gases de efeito estufa (GEE). O governo brasileiro estimou a emissão de GEE, em tonCO₂e (CO₂e é a conversão dos demais gases do efeito estufa para CO₂), para o ano de 2020 em relação ao desmatamento na Amazônia (BRASIL, 2010). A base para isso é a média da taxa de desmatamento entre 1996 e

2005 - 1.953.500 ha. Esse valor multiplicado por 132,3 tonC/ha, refere-se às emissões de GEE/ha, e 44/12 refere-se ao fator de equivalência usado para converter as emissões de CO₂e, resultando em 947.642.850 tonCO₂e (Tabela 3).

Tabela 3 – Total de emissões projetadas para Amazônia Legal em 2020

Desmatamento 2020 (ha)	Emissões de GEE/ha (tonC/ha)	Fator de Equivalência	Total das Emissões Projetadas (tonCO₂e)
1.953.500	132,3	44/12	947.642.850

Fonte: (Brasil, 2010)

Considerando os valores obtidos a partir do método proposto (CA-Markov) e utilizando aqueles recomendados em (BRASIL, 2010), o total do desmatamento previsto para as áreas de assentamento, para os anos de 2012 a 2020, emitirá cerca de 68.940.680 tonCO₂e.

O valor de emissão, CO₂e, calculado para as áreas colonizadas é proporcionalmente superior ao valor de emissão obtido para a Amazônia Legal, no período observado, conforme mostrado na Tabela 4.

Os valores de desmatamento calculados, a partir das previsões do CA-Markov, correspondem a 16,48% da área total observada. Considerando o mesmo intervalo de tempo - 2012 a 2020, a relação entre o desmatamento da Amazônia e a área total da região é de 3,37%. Essa relação implica que a taxa de desmatamento nas áreas colonizadas é cerca de 5 vezes maior que a média na Amazônia, consequentemente emitindo mais CO₂e.

Tabela 4 – Emissões de CO₂e entre 2012 e 2020

Região	Desmatamento Acumulado entre 2012 e 2020 (ha)	Total Emissão de GEE (CO₂e)
Amazônia Legal (estimada)	17.581.500	8.528.78.,650
Áreas de Assentamentos (prevista)	142.116,43	68.940.679,93

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Esse fato pode indicar que a política pública de assentamentos da reforma agrária não se mostra capaz de frear o desmatamento dos lotes e, conseqüentemente, a emissão de CO₂e.

5.3 Considerações finais

A metodologia passou por uma prova de conceito, dividida em duas partes, uma para o algoritmo de roteamento e outra para a previsão de mudanças no uso e cobertura da terra.

As características inerentes às FANETs, como alta mobilidade dos nós, faz com que a topologia da rede mude constantemente, logo, o protocolo de roteamento deve ser capaz de lidar, de forma eficiente, com essas variações.

Os protocolos de rede clássicos não conseguem ter um bom desempenho, pois não são ágeis o suficiente para perceberem as mudanças e dar uma resposta adequada, em tempo hábil.

Diante disso, foi proposto um algoritmo adaptativo baseado em sistema Fuzzy. O protocolo proposto, ao ser comparado com os protocolos AODV e OLSR, que são bastante consolidados, obteve um desempenho superior, tanto considerando métricas de QoS, quanto de QoE, comprovando sua eficiência em lidar com a mobilidade, mudanças de velocidade e de topologia das FANETs.

Para a previsão de mudanças no uso e cobertura da terra, foi proposto o uso conjunto de autômatos celulares e cadeias de Markov, sendo que a matriz de probabilidade de Markov possui um diferencial significativo, pois nela é inserida a informação da vizinhança de cada pixel das imagens, possibilitando que, além da característica espacial, contemple a espacial.

O CA-Markov obteve um desempenho interessante, pois os resultados obtidos estão de acordo com o que a literatura especializada demonstra, como uma forte relação com investimentos do Governo, bem como características inerentes à área estudada, como aptidão do solo. Adicionalmente, alerta que as áreas de florestas, contidas nos assentamentos, tendem a acabar em pouco tempo, caso nenhuma ação seja tomada.

6 CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

As FANETs oferecem vários benefícios, como o monitoramento de áreas de difícil acesso e aquelas atingidas por catástrofes, mas ainda existem alguns desafios a serem estudados, como o roteamento entre UAVs da rede aérea. Por esse motivo, as FANETs têm sido um tópico de pesquisa bastante relevante.

Como não existe um protocolo de roteamento específico para redes aéreas, este trabalho apresentou a concepção e o desenvolvimento de um protocolo de roteamento baseado em sistemas Fuzzy, capaz de se adaptar às mudanças de topologia da rede aérea. A hipótese inicial estimou que, dada a velocidade dos UAVs, sua autonomia de voo e o RSSI, o protocolo de roteamento seria capaz de descobrir o melhor caminho para a comunicação entre os nós, ou seja, aquele caminho com maior autonomia de voo, maior RSSI e menor mobilidade, que permitirá que a conectividade entre os UAVs, se mantenha por mais tempo.

Por meio do estudo de caso, foi possível observar o comportamento do protocolo proposto. Foi realizada uma avaliação *cross-layer*, envolvendo as camadas de rede e de aplicação. Métricas de QoS (*throughput*) e de QoE (PSNR, VQM e SSIM), foram utilizadas, a fim de verificar se o melhor caminho definido pelo protocolo, implicava em uma boa qualidade de experiência por parte do usuário. Considerou-se a transmissão de vídeo de alta definição.

O FANET Adaptive Protocol, foi avaliado e comparado com o desempenho de protocolos clássicos de redes ad-hoc, o AODV e o OLSR. Essa comparação foi realizada por simulação, e o protocolo de roteamento proposto, obteve uma média da taxa de transferência de aproximadamente 300% melhor do que os outros dois protocolos. O seu desempenho global também foi melhor, cerca de 35%.

É importante ressaltar que a decisão de estudar as FANETs e, conseqüentemente, a proposição do protocolo de roteamento, se deu devido à necessidade de obtenção de imagens detalhadas, e sem o inconveniente da cobertura de nuvens e/ou sombra

de nuvens, características de regiões de clima tropical úmido, para que se possa realizar análises de mudanças no uso e cobertura da terra.

Vários modelos para o estudo do uso e cobertura da terra foram sugeridos na literatura. No caso específico da Amazônia, no levantamento bibliográfico realizado pelos autores, há uma prevalência de modelos estatísticos e econométricos.

Esta tese, adicionalmente, empregou uma metodologia inovadora para estudar o uso e a cobertura da terra, concentrando-se na degradação florestal e na emissão de CO₂e. A metodologia foi validada através da realização de estudos em projetos de assentamento na região amazônica.

Essa metodologia fim a fim, chamada MAPS, abrange desde a obtenção de imagens, até o uso das mesmas como entrada para um processo de previsão de cenários de LULC. Este processo emprega o uso conjunto de autômatos celulares e cadeias de Markov. A MAPS tem como diferencial sobre outras aplicações de CA-Markov em LULC, o fato de que as informações sobre a vizinhança dos pixels, isto é, informações espaciais são acrescentadas à matriz de probabilidade de transição de Markov, fazendo com que, além da característica temporal, a matriz P incorpore o viés espacial.

As previsões realizadas na prova de conceito da MAPS demonstraram, de forma clara, a manutenção da tendência de conversão da cobertura florestal em pasto. Isso comprova o que a literatura especializada atesta, que a pressão econômica, aliada às linhas de crédito e à aptidão do solo, nos quais estão os assentamentos, contribuem, de forma decisiva, para o desmatamento das propriedades.

6.2 Contribuições da tese

Ao cumprir os objetivos almejados, este trabalho oferece uma série de contribuições, com destaque para:

- A concepção e o desenvolvimento de uma metodologia fim a fim, chamada MAPS, abrangendo desde a obtenção de imagens, até o uso das mesmas como entrada para um processo de previsão de cenários de LULC baseada em

CA-Markov, com a vantagem de ser relativamente simples no uso; de necessitar de poucas imagens (mínimo 3, sendo duas para gerar a previsão e uma para validar) para gerar as previsões de cenários; de minimizar a subjetividade na escolha da função de transição do CA, visto que são utilizadas apenas informações das imagens e a matriz de probabilidade de transição de Markov; de ser flexível e generalizável, podendo ser adaptada para outros estudos baseados em imagens de sensoriamento remoto;

- A MAPS foi pensada para auxiliar na solução de problemas complexos, com forte caráter interdisciplinar, visto que, utilizando-se de ciências formais, procura agregar conhecimentos sobre um mesmo assunto, porém sob a óptica de diferentes ciências, como as ciências humanas, as sociais aplicadas, ciências naturais, por meio de uma síntese capaz de correlacioná-los;
- A disponibilização das estratégias propostas nesta tese para pesquisadores de áreas exógenas às tecnológicas (humanidades, biológicas, agrárias, econômicas, entre outras);
- A concepção e o desenvolvimento de um algoritmo de roteamento para FANET, baseado em sistemas Fuzzy, capaz de adaptar-se às mudanças de topologia da rede, causadas pela alta mobilidade dos nós, autonomia de voo e potência de sinal recebida;
- As publicações geradas tendo como base esta pesquisa, as quais se constituem em excelente forma de divulgação do trabalho à comunidade acadêmica. Com resultados diretos desta tese, elaborou-se o artigo:
 - J. A. M. de Souza, J. Jailton, T. Carvalho, J. Araújo e C. R. L. Francês, “QoS and QoE Aware Routing Protocol for Flying Ad-Hoc Surveillance Networks using Fuzzy Inference Systems”, *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, 2019 (aceito para publicação);
 - J. A. M. de Souza, J. Jailton, T. Carvalho, J. Araújo e C. R. L. Francês, “A proposal for routing protocol for FANET: a fuzzy system approach with QoE/QoS Guarantee”, *Unmanned Air Vehicles-to-Everything (U2X) Communications (UAVI)*, in *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019 (aceito para publicação)
 - F. P. Monteiro, P. S. Aranha, P. A. I. Pontes, J. A. M. de Souza, N. L. Vijaykumar, M. A. Monteiro, C. R. L. Francês, “A Comparative Study Of

Supervised Classification Techniques For Dynamics Assessment Of Land Use And Land Cover In The Brazilian Amazon.”, in International Conference On Advances In Applied Science And Environmental Technology - Aset 2015, 2015, Bangkok. Proceedings of International Conference On Advances In Applied Science And Environmental Technology - Aset 2015, 2015. P. 103-109.

- P. S. Aranha, F. P. Monteiro, P. A. I. Pontes, J. A. M. de Souza, N. L. Vijaykumar, M. A. Monteiro, C. R. L. Francês, “Supervised Classification Of Satellite Images To Analyze Multi-Temporal Land Use And Coverage: A Case Study For The Town Of Marabá , State Of Pará, Brazil.”, in Second International Conference On Computer Science And Information Technology (Cosit 2015), 2015, Genebra. Volume Editors: Natarajan Meghanathan And Dhinaharan Nagamalai. V. 5. P. 9-19

6.3 Trabalhos futuros

Como sugestões de trabalhos futuros, destacam –se:

- Otimizar o número de drones na FANET, necessários para monitorar uma determinada área, baseado no tamanho da área, velocidade do drone, autonomia de voo, GSD (*Ground Sample Distance*) e na *signal-to-interference-plus-noise ratio* (SINR);
- Avaliação da eficiência no uso de outras técnicas de inteligência computacional, como alternativa ao uso de Sistemas Fuzzy;
- Considerar novos parâmetros para a máquina de decisão;
- Utilizar outras tecnologias de comunicação sem fio, como a *Long Term Evolution* – LTE e 5G;
- Testar outros modelos de propagação como o *Air to Ground Path Loss* para plataformas de baixa altitude e *Air to Ground Path Loss* plataformas de maior altitude;
- Adicionar ao estudo de mudanças no uso e cobertura da terra, a influência de fatores exógenos, como clima, estradas, unidades de conservação e terras indígenas.

REFERÊNCIAS

- ADAM, F. *et al.*, Cloud Removal in High Resolution Multispectral Satellite Imagery: Comparing Three Approaches, in 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing, 2018.
- AHMED, B.; AHMED, R. Modeling Urban Land Cover Growth Dynamics Using Multi-Temporal Satellite Images: A Case Study of Dhaka, Bangladesh. ISPRS International Journal of Geo-Information, n. 1, p. 3 – 31, 2012.
- ALENCAR, A. *et al.*, Desmatamento na Amazônia: indo além da “emergência crônica”. Belém, PA. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2004.
- ÂNGELO, H.; SÁ, S. P. P. O desflorestamento na Amazônia Brasileira. Ciência Florestal, v. 17, n. 3, 2007.
- ARAI, E. *et al.*, Avaliação da cobertura de nuvens e cobertura de dados MODIS sobre a Amazônia nos anos de extremos climáticos de 2009 e 2010. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 2015.
- ASNER, G. P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon, International journal of remote sensing, v. 22, n. 18, p. 3855–3862, 2001.
- BARONA, E. *et al.*, The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. Environmental Research Letters, v. 5, 2010.
- BATISTELLA, M.; BRONDIZIO, E. Uma Estratégia Integrada de Análise e Monitoramento de Assentamentos Rurais na Amazônia. GIS Brasil 2001: Show de Geotecnologias, 7. Anais (Internet). Curitiba, PR, 2001.
- BERTO, F.; TAGLIABUE, J. Cellular Automata, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2012 Edition), Edward N. Zalta (ed.). Disponível em: <http://plato.stanford.edu/archives/sum2012/entries/cellular-automata>. Acesso em: 27/07/2016.
- BEWERNICK, T. Mapping Post deforestation Land Use in the Brazilian Amazon using Remote Sensing Time Series. Thesis. Wageningen University and Research Centre, The Netherlands, 2015.

BOLCH, G. *et al.*, Queueing networks and Markov chains: modeling and performance evaluation with computer science applications. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc. 2nd. Ed., 2006.

BRANDÃO, A. *et al.*, Situação do Desmatamento nos Assentamentos de Reforma Agrária no Estado do Pará. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2013.

BRASIL, Decreto Nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2010/decreto-7390-9-dezembro-2010-609643-norma-actualizada-pe.html>. Acesso em: 15/05/2018.

BRIASSOULIS, H. Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. Regional Research Institute, West Virginia University. Disponível em: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis /contents.htm>. Acesso em: 10/01/2016.

BURDAKOV, O.; DOHERTY, P.; HOLMBERG, K. Relay Positioning for Unmanned Aerial Vehicle Surveillance. The International Journal of Robotics Research, 2018.

CONGILIO, C. R.; IKEDA, J. C. O. A ditadura militar, expansão do capital e as lutas sociais no sudeste paraense, in Lutas Sociais, v.18 n.32, p.79-90, São Paulo, 2014.

COSTA, F. A. Balanço de Carbono e Economia Local: Um Ensaio sobre uma Região Crítica da Amazônia”. Revista Economia, v. 10(2), p. 299–332, 2009.

CROSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. ed. rev. IG/UNICAMP. Campinas, SP, 2002.

CRUZ, H. O. *et al.*, Precise Real-Time Detection of Nonforested Areas With UAVs. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 55, n. 2, 2017.

CRUZ, E. “A Comprehensive Survey in Towards to Future FANETs”. IEEE Latin America Transactions. 2018.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite, LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html. Acesso em: 15/08/2017a.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA / Amazônia Oriental, Mapas de solos e de aptidão agrícola das áreas alteradas do Estado do Pará. Disponível em:
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1052617/1/MapasSolosPara.pdf>. Acesso 15/01/2017b.

FARIA, W. R.; NUNES, A. Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon. *Ecological Economics*, n. 121, p. 85–97, 2016.

FEARNSIDE, P. M. Land-tenure issues as factors in environmental destruction in Brazilian Amazonia: The case of southern Pará. *World Development*, v. 29(8), p. 1361-1372, 2001.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. *Megadiversidade*, v. 1(1), p. 113 – 123, 2005.

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

FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3ª. Ed. ampl. e atual., Oficina de Textos. São Paulo. 2011.

GODAR, J. *et al.*, Typology and Characterization of Amazon Colonists: A Case Study Along the Transamazon Highway. *Human Ecology*, v. 40, p. 251–267, 2002.

GODAR, J.; TIZADO, E. J.; POKORNY, B. Who is responsible for deforestation in the Amazon? A spatially explicit analysis along the Transamazon Highway in Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 267, p. 50 – 73, 2012.

HALMY, M. W. A. *et al.*, Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*, v. 63, p. 101 – 112, 2015.

HURTIENNE, T. Agricultura familiar e desenvolvimento rural sustentável na Amazônia. *Novos Cadernos NAEA (UFPA)*, v. 8 (1), p. 19 – 71, 2005.

IBGE, Introdução ao Processamento Digital de Imagens. Manuais Técnicos em Geociências, n. 9. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 2001.

INCRA, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Painel dos Assentamentos. Disponível em <http://painel.incra.gov.br/sistemas/index.php>. Acesso em 10/10/2019.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Introdução ao Sensoriamento Remoto. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html. Acesso em: 07/05/2017.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, Tradução da segunda edição. 2009.

JU, Z.; LIU, H. Fuzzy Gaussian Mixture Models, in Pattern Recognition, v. 45, n. 3, p. 1146-1158, 2012.

JUSYS, T. Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in Legal Amazon. Applied Geography, v. 75, p. 188 – 199, 2016.

KAIMOWITZ, D. *et al.*, Hamburger Connection Fuels Amazon Destruction: Cattle Ranching and Deforestation in Brazil's Amazon. Bangor, Indonesia. Center for International Forest Research (CIFOR). Disponível em: http://www.cifor.org/publications/pdf_files/media/Amazon.pdf. Acesso em: 05/03/2016.

KAUR, P.; SINGH, A. Nature-Inspired Optimization Techniques in VANETs and FANETs: A Survey in Bhattacharyya S., Chaki N., Konar D., Chakraborty U., Singh C. (eds) Advanced Computational and Communication Paradigms. Advances in Intelligent Systems and Computing, p. 651-663, 2018.

KHELIFI, F. *et al.*, Localization and Energy-Efficient Data Routing for Unmanned Aerial Vehicles: Fuzzy-Logic-Based Approach, IEEE Communications Magazine, v. 56, n. 4, p. 129-133, 2018.

LEITE, D. L. *et al.*, APA-VANT: Um Sistema Multi-Vant para o Monitoramento de Área de Proteção Ambiental. XXII Congresso Brasileiro de Automática. João Pessoa. 2018.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd ed. xvi 750 pp. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. Geological Magazine, v. 132, n. 2, p. 248-249, 1994.

LITVINOV, G. A.; LEONOV, A. V.; KORNEEV, D. A. Applying Static Mobility Model in Relaying Network Organization in Mini-UAVs Based FANET, in Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Minsk, p. 1-7, 2018.

LU, D. *et al.*, Spatiotemporal analysis of land-use and land-cover change in the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, v. 34, n. 16, p. 5953–5978, 2013.

MA, L. *et al.*, Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 152, 2019.

MARGULIS, S. Quem são os agentes dos desmatamentos na Amazônia e por que eles desmatam?. Brasília, DF. Banco Mundial, 2001.

MARGULIS, S. Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira, 1ª edição. Brasília, DF. Banco Mundial, 2003.

MAS, J. F.; SOARES-FILHO, B.; RODRIGUES, H. Calibrating Cellular Automata of Land Use/Cover Change Models Using a Genetic Algorithm. *ISPRS Geospatial Week*, v. XL-3/W3, 2015.

MAVIC, Mavic 2 Pro Zoom User Manual V 2.0. Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/20190417/Mavic_2_Pro_Zoom_User_Manual_v2.0_en.pdf. Acesso em: 10/01/2019.

MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. 2ª. ed. Brasília, DF, 2014.

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

MONDAL, M. S. *et al.*, Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, v. 19, p. 259 – 272, 2016.

MORAES, E. C. Fundamentos de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 250 p, 2001.

MSU, MSU Quality Measurement Tool. Disponível em: https://www.compression.ru/video/quality_measure/vqmt_download.html. Acesso em: 10/02/2016.

NAVULUR, K. Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm. Boca Raton, USA: Taylor & Francis Group., 2006.

NAYYAR, A. Flying Adhoc Network (FANETs): Simulation Based Performance Comparison of Routing Protocols: AODV, DSDV, DSR, OLSR, AOMDV and HWMP in Int. Conf. on Advances in Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD), Durban, p. 1-9, 2018.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações Ed. Edgard Blucher Ltda, 3a Edição, São Paulo, 2008.

NS2, The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation). Disponível em: https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns_doc.pdf. Acesso em: 03/03/2015.

OUBBATI, O. S. *et al.*, A survey on position-based routing protocols for Flying Ad hoc Networks (FANETs) in Vehicular Communications, p. 29-56, 2017.

Paul, S. S. *et al.*, Application of Object Oriented Image Classification and Markov Chain Modeling for Land Use and Land Cover Change Analysis. Journal of Environmental Informatics, 2018.

Phantom, Phantom 4 User Manual V 1.6. (2017). Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4/20170706/Phantom_4_User_Manual_v1.6.pdf. Acesso em: 10/01/2019.

PRODES, Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Disponível em: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates. Acesso em 18/11/2019.

PROKOPOWICZ, P. *et al.*, Theory and Applications of Ordered Fuzzy Numbers, Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2017.

RADU, D. *et al.*, Flying Ad Hoc Network for Emergency Applications connected to a Fog System, in *Advances in Internet, Data & Web Technologies*, p.675-686, 2018.

RAMOS, N. P.; LUCHIARI, A. Monitoramento Ambiental. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_73_711200516719.html. Acesso em: 25/11/2017.

REIS, E. J.; MARGULIS, S. *Perspectivas econômicas do desflorestamento da Amazônia*. Brasília, DF. IPEA, 40p., 1991.

RIMAL, B. *et al.*, Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by the Integration of Cellular Automata and Markov Chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 7, p. 6 – 21, 2018.

RIVERO, S. *et al.*, Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova Economia*, v. 19, n. 1, p. 41 – 66, 2009.

ROCHA, C. H. B. *Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar*. Juíz de Fora: Ed do Autor, 2000.

SHAFAEY, M. A. *et al.*, *Deep Learning for Satellite Image Classification*, 2019.

SINGH, S. K. *et al.*, Predicting Spatial and Decadal LULC Changes Through Cellular Automata Markov Chain Models Using Earth Observation Datasets and Geo-information. *Environmental Processes*, v. 2, p. 61 – 78, 2015.

SIRAVENHA, A.; SOUSA, D.; PELAES, E. *The Development of a Hybrid Solution to Replacement of Clouds and Shadows in Remote Sensing Images*, 2014.

SOARES-FILHO, B. S.; PENNACHIN, C. L.; CERQUEIRA, G. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, v. 154, n. 3, p. 217–235, 2002.

VASILIEV, D. S.; MEITIS, D. S.; ABILOV, A. Simulation-Based Comparison of AODV, OLSR and HWMP Protocols for Flying Ad Hoc Networks in Balandin S., Andreev S., Koucheryavy Y. (eds) *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and System*, p. 245-252, 2014.

VERDÉLIO, A. INCRA deverá explicar desmatamento em assentamentos na amazônia. Agência Brasil. disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-12/incra-devera-explicar-desmatamento-em-assentamentos-na-amazonia>. Acesso em: 10/02/2016.

WALKER, R.; MORAN, E.; ANSELIN, L. Deforestation and Cattle Ranching in the Brazilian Amazon: External Capital and Household Processes. *World Development*, v. 28, n. 4, p. 683 – 699, 2000.

WANG, L. *A Course in Fuzzy Systems and Control*. 1st ed. Prentice Hall, 1996.

WINKLER, S. *Perceptual video quality metrics - a review in Digital Video Image Quality and Perceptual Coding*, CRC Press, 2005.

YANG, H.; LIU, Z. An optimization routing protocol for FANETs. *J Wireless Com Network*, n. 120, 2019.

YANG, X.; ZHENG, X. Q.; CHEN, R. A land use change model: Integrating landscape pattern indexes and Markov-CA. *Ecological Modelling*, v. 283, p. 1 – 7. 2014.

YANG, B.; LIU, M.; LI, Z. Rendezvous on the Fly: Efficient Neighbor Discovery for Autonomous UAVs in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 36, n. 9, p. 2032-2044, 2018.

ZADEH, L. A. "Fuzzy sets". *Inf. Control* v. 8, p. 338–353, 1965.

ZHENG, Z.; SANGAIAH, A.; WANG, T. Adaptive Communication Protocols in Flying Ad Hoc Network *IEEE Communications Magazine*, v. 56, n. 1, 2018.

ZHU, Z.; WOODCOCK, C. E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery, *Remote Sensing of Environment*, v. 118, 2012.