

Universidade de Pernambuco
Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação
(PPGEC)

Proposta de Dissertação de Mestrado

Área: Modelagem, Desempenho e Dependabilidade de Sistemas Computacionais

Título: Modelagem e Verificação Descentralizada de Dados Ambientais em Mercados Voluntários de Carbono

Orientador: Carlos Melo (carlos.melo@upe.br)

Resumo

A crescente demanda por mecanismos de monitoramento, reporte e verificação (MRV) em Mercados Voluntários de Carbono (VCMs) tem impulsionado o uso de técnicas de sensoriamento remoto, processamento digital de imagens (PDI) e sistemas distribuídos voltados à certificação automatizada de práticas sustentáveis. Nesse contexto, imagens multiespectrais provenientes de plataformas como Sentinel-2 e Landsat vêm sendo utilizadas para inferir indicadores relacionados à cobertura vegetal, desmatamento e uso do solo, fornecendo evidências quantitativas para emissão de créditos de carbono.

Técnicas como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e algoritmos de classificação supervisionada de cobertura do solo têm sido amplamente empregadas em aplicações de monitoramento ambiental. Entretanto, os resultados produzidos por esses métodos possuem natureza probabilística e estão sujeitos a incertezas decorrentes de fatores como resolução espacial, sazonalidade, presença de nuvens e variação dos parâmetros dos modelos de classificação.

Essa característica representa um desafio para sistemas automatizados de verificação ambiental baseados em tecnologias de registros distribuídos (DLT), nos quais contratos inteligentes exigem entradas determinísticas para execução de transações e emissão de ativos digitais.

Na literatura de blockchain, esse problema é frequentemente denominado Oracle Problem, referindo-se à dificuldade de integrar informações probabilísticas do mundo físico a sistemas determinísticos de consenso distribuído. Embora mecanismos de consenso baseados em reputação tenham sido propostos para mitigar esse problema em cenários envolvendo sensores IoT, protótipos integrando análise de imagens ambientais, avaliação quantitativa de confiabilidade e plataformas blockchain permissionadas ainda permanecem pouco explorados.

Diante desse contexto, esta proposta tem como objetivo desenvolver uma abordagem integrada para avaliação e verificação descentralizada de dados ambientais voltados a mercados voluntários de carbono. A proposta combinará técnicas de processamento digital de imagens, análise quantitativa de confiabilidade e mecanismos de consenso descentralizado para investigar a

utilização de dados ambientais probabilísticos em pipelines automatizados de verificação.

Inicialmente, serão investigados métodos de PDI aplicados ao monitoramento de cobertura vegetal utilizando imagens Sentinel-2 e Landsat. Os experimentos considerarão índices espectrais de vegetação e algoritmos de classificação supervisionada implementados em ambiente Python com bibliotecas voltadas ao processamento geoespacial e aprendizado de máquina.

Posteriormente, serão analisadas métricas relacionadas à acurácia, estabilidade temporal e consistência dos resultados produzidos pelos pipelines de classificação. Essas métricas serão utilizadas para investigar critérios mínimos de confiabilidade necessários para integração dos resultados em mecanismos automatizados de verificação descentralizada.

A proposta também investigará mecanismos de consenso baseados em reputação para agregação de resultados provenientes de múltiplos oráculos ambientais. Como prova de conceito, será desenvolvido um protótipo experimental utilizando rede Hyperledger Fabric de teste, permitindo avaliar o impacto de diferentes estratégias de quórum e reputação sobre indicadores de desempenho e confiabilidade do sistema distribuído.

Os experimentos serão conduzidos utilizando bibliotecas Python para análise geoespacial e aprendizado de máquina, além de tecnologias Docker e Hyperledger Fabric para implantação do ambiente distribuído de testes.

Os resultados obtidos permitirão discutir os desafios relacionados à integração entre dados ambientais probabilísticos e mecanismos determinísticos de consenso em sistemas descentralizados de verificação ambiental.

Por fim, espera-se que a pesquisa contribua para o avanço das investigações em sistemas distribuídos aplicados ao monitoramento ambiental, integrando técnicas de processamento digital de imagens, avaliação quantitativa de confiabilidade e verificação descentralizada em contextos associados a mercados voluntários de carbono.

Referências Bibliográficas

- [1] MELO, Carlos; ARAUJO, Jean. Stochastic Modeling of the Physical-Digital Continuum: Assessing Feasibility in Decentralized Environmental Monitoring. In: 2026 IEEE International Systems Conference (SysCon). IEEE, 2026. p. 1-8.
- [2] CHRISTIANSEN, Kirstine Lund. Relegitimising the voluntary carbon market: Visions of digital monitoring, reporting and verification. *Environment and Planning A: Economy and Space*, v. 57, n. 8, p. 1190-1205, 2025.
- [3] CONGALTON, Russell G.; GREEN, Kass. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press, 2019.
- [4] FOODY, Giles M. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of environment*, v. 80, n. 1, p. 185-201, 2002.
- [5] MAXWELL, Aaron E.; WARNER, Timothy A.; FANG, Fang. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. *International journal of remote sensing*, v. 39, n. 9, p. 2784-2817, 2018.