



Mapeamento Litológico Preditivo na Suíte Intrusiva São João do Sabugi

Mariana Izabel Tomaz de Lima¹, Matheus Dias Oliveira¹ e Frederico Castro Jobim Vilalva¹, ¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Copyright 2021, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 17th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 16-19 August 2021.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 17th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The use of the random forest algorithm for detailed lithological mapping is shown to be a viable tool with lithological analysis. Geophysical and geological data are widely available at a reasonable resolution in the form of data sets made available by CPRM. With these data available, it was possible to analyze a predictive mapping for the São João do Sabugi Intrusive Suite and suggest areas for reassessment for a refinement in the delimitation of this lithology in the field. Of the 62662, 1556 samples were used as training samples for the RF to make the prediction of the area. These points had their own geological and geophysical data that were added by the Arcgis software. With training data, a prediction was made with a focus on São João do Sabugi. This prediction had a compatibility of 70.4% and it is possible to raise some factors for this percentage of incompatibility, one of them being new correlations that can be used to improve the current geological map. The relationship of lithology with a smaller sample was also analyzed, with a higher percentage predicted, as is the case of the Poço da Cruz Suite. In addition to the reassessment of the areas, the relationship between the Jucurutu Formation and the São João do Sabugi Intrusive Suite was also discussed, and their expressive interconnection in the area. At Stock Boa Vista, with the lithological prediction, he demonstrated that Jucurutu lost expression in the crystalline basement and that the intrusive body itself does not have a great geometric change, information corroborated by the geophysical response of the body. Pluton São João do Sabugi, on the other hand, was predicted as small intrusions in continuous and elongated body in the southwest part of the area. This change in the geometry of the body is a difference visualized by the prediction and suggestion for a possible reassessment of the lithological mapping. It is concluded that lithologic prediction is a tool for the refinement of current lithologic maps or even the first step to map regions with little lithologic information due to the scarce presence of outcrops.

Introdução

A técnica de integração de dados geofísicos e geológicos em mapeamento litológico está difundida por anos em campos dos cursos de geologia, empresas e companhias de serviços geológicos de vários países. Com o advento

da utilização dos algoritmos de machine learning (MLAs), essa técnica conhecida por muitos teve uma evolução. Os trabalhos de Cracknell et al. 2014, Kuhn et al. 2018 e Costa et al. 2019 demonstram o uso eficiente dos MLAs na produção de novos mapas litológicos ou a melhoria de mapas existentes.

Cracknell e Reading (2014) fizeram uma comparação entre cinco MLAs: Random Forrest (RF), SVM, Naïve Bayes, k-Nearest Neighbours e Redes Neurais Artificiais, aplicando esses MLAs para mapeamento litológico. RF superou os quatro métodos em resultados precisos com parâmetros iniciais mais simples e menos carga de processamento em comparação aos outros algoritmos. Cracknell e Reading (2014) demonstraram que RF teve a capacidade de identificar e redefinir estruturas litológicas mapeadas incorretamente em uma área ao oeste da Tasmânia, usando só 2% dos dados de entrada pertencentes a essa área. Harris e Grusky (2015) realizaram abordagem semelhante em mapeamento geológico ao norte do Canadá, e tendo resultados satisfatórios.

Com a falta de tempo e oportunidade de ir a campo no momento atual, além da dificuldade em delimitar corretamente as litologias e suas delimitações em áreas de um mapeamento regional, o uso do RF para mapeamento litológico de detalhe se mostra como uma ferramenta viável com análises litológicas. Os dados geofísicos e geológicos estão amplamente disponíveis em uma resolução razoável na forma de conjuntos de dados disponibilizados pela CPRM. Os algoritmos de *machine learning*, principalmente o *random forest*, apresenta uma maneira atraente de avançar, facilitando o uso desses dados para melhorar um mapa litológico preliminar ou para produzir um mapa inicial a partir de observações limitadas: em cada caso, melhorando a capacidade de delimitar as litologias em campo.

Em virtude do uso do RF, dados geofísicos e geológicos disponibilizados pela CPRM foram analisados e foi possível realizar um mapeamento preditivo da Suíte Intrusiva São João do Sabugi. Foram desenvolvidos trabalhos (Jardim de Sá 1994; Costa et al. 2018; Paiva et al. 2019) que descreveram a geometria dos corpos intrusivos nesta região, representados pelo Plúton São João do Sabugi e Stock Boa Vista. E com esse trabalho trazemos mais uma sugestão de como esses corpos estão dispostos na área de estudo.

Métodos

Os dados geofísicos aerogamaespectrométricos são oriundos do Projeto Paraíba - Rio Grande do Norte (1092), executado pela CPRM no ano de 2010, os quais foram processados no software Oasis Montaj, gerando

assim dados magnéticos, de sinal analítico, Kperc, eU, eTh e as razões radiométricas. A aquisição dos dados obtidos em sobrevoos espaçados com linhas de 500 m, altura de 100 m, e direção N-S das linhas de voo foram levantados pelo Serviço Geológico Brasileiro. Os dados geológicos foram obtidos pelo projeto Carta geológica-geofísica: folha SB.24-Z-B-IV Serra Negra do Norte, executado pela CPRM em 2018. Os dados mencionados estão disponíveis no website da Geobank <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Em seguida, ocorre a vinculação dos dados geofísicos e geológicos no *software* ArcGis 10.8, utilizando a ferramenta Spatial Join, onde ponto terá um dado geofísico e geofísico correlacionado. Quanto o processamento e predição dos dados foram realizados no programa Orange Data Mining 3.27.1. A predição com algoritmo *random forest* utilizou 2,5% das amostras totais (1566 amostras para o processamento) e 100 árvores de decisão. Esses parâmetros de processamento seguem os trabalhos de Cracknell e Reading (2014), Harris e Grusky (2015) e Costa et al. (2019). Esses dados foram exportados para o ArcGis 10.8. Em seguida, procedeu-se com a confecção dos mapas dentro da plataforma ArcMap 10.8, possibilitando a confecção dos mapas de probabilidade litológico e litológico preditivo e a delimitação dos corpos da Suíte Intrusiva São João do Sabugi. O Datum utilizado para georreferenciamento dos mapas foi o SAD 1989, Zona UTM 24S, seguindo dessa forma os dados obtidos pela CPRM.

litoestratigráficas paleoproterozóicas e neoproterozóicas (fig.1). As unidades paleoproterozóicas são predominadas pelos gnaisses e migmatitos indiferenciados do Complexo Caicó, e os biotita augen gnaisses da Suíte Poço da Cruz. Essas unidades litoestratigráficas representam mais de 60% da área estudada. Já as unidades neoproterozóicas são representadas pelas rochas do Grupo Seridó, tendo as três formações representadas, e os Granitóides Indiscriminados Brasileiros. As suítes intrusivas estão presentes também, e representadas pelos gabros, quartzo monzonitos, quartzo dioritos e diorito da Suíte Intrusiva São João do Sabugi; granitos leuco-mesocrático da Suíte Intrusiva Itaporanga e os granitos de composição sieno a monzogranítica da Suíte Dona Inês. Essas litologias representam a porcentagem restante da área (+/- 40%).

Resultados

Seguindo a metodologia dos trabalhos citados (Cracknell et al. 2014, Kuhn et al. 2018 e Costa et al. 2019), foram produzidos alguns mapas preditivos. Um dos resultados do algoritmo *random forest* é um mapa de probabilidade para cada classe (unidade litológica), exemplo da figura 2.

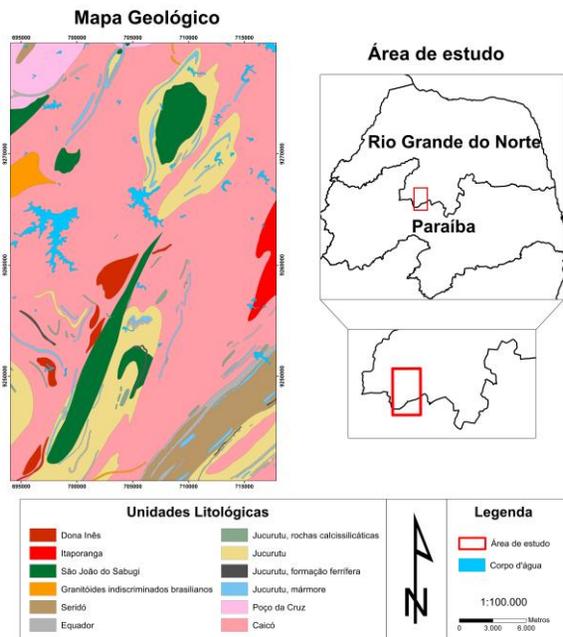


Figura 1 - Mapa litológico da área segundo Costa et al., 2018, além da localização da área em relação aos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

Geologia da Área

A área de estudo encontra-se geologicamente na folha SB.24-Z-B-IV Serra Negra do Norte e geograficamente ao sudoeste de Caicó. Costa et al (2018) descreve o contexto geológico da área sendo formada por unidades

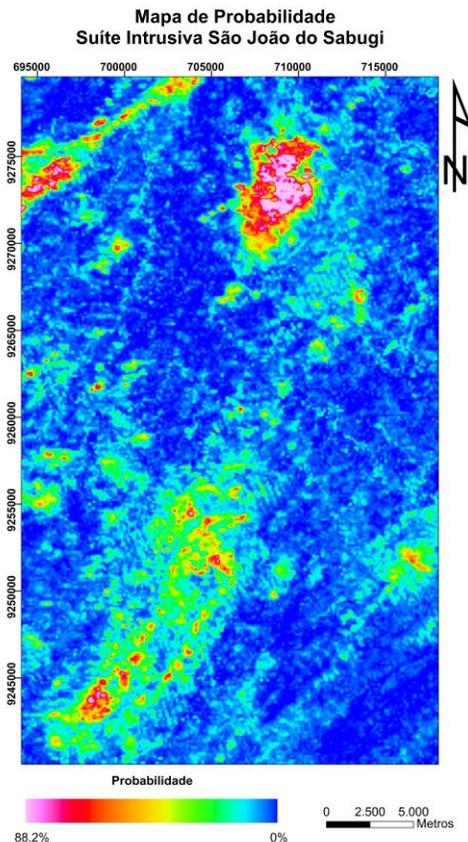
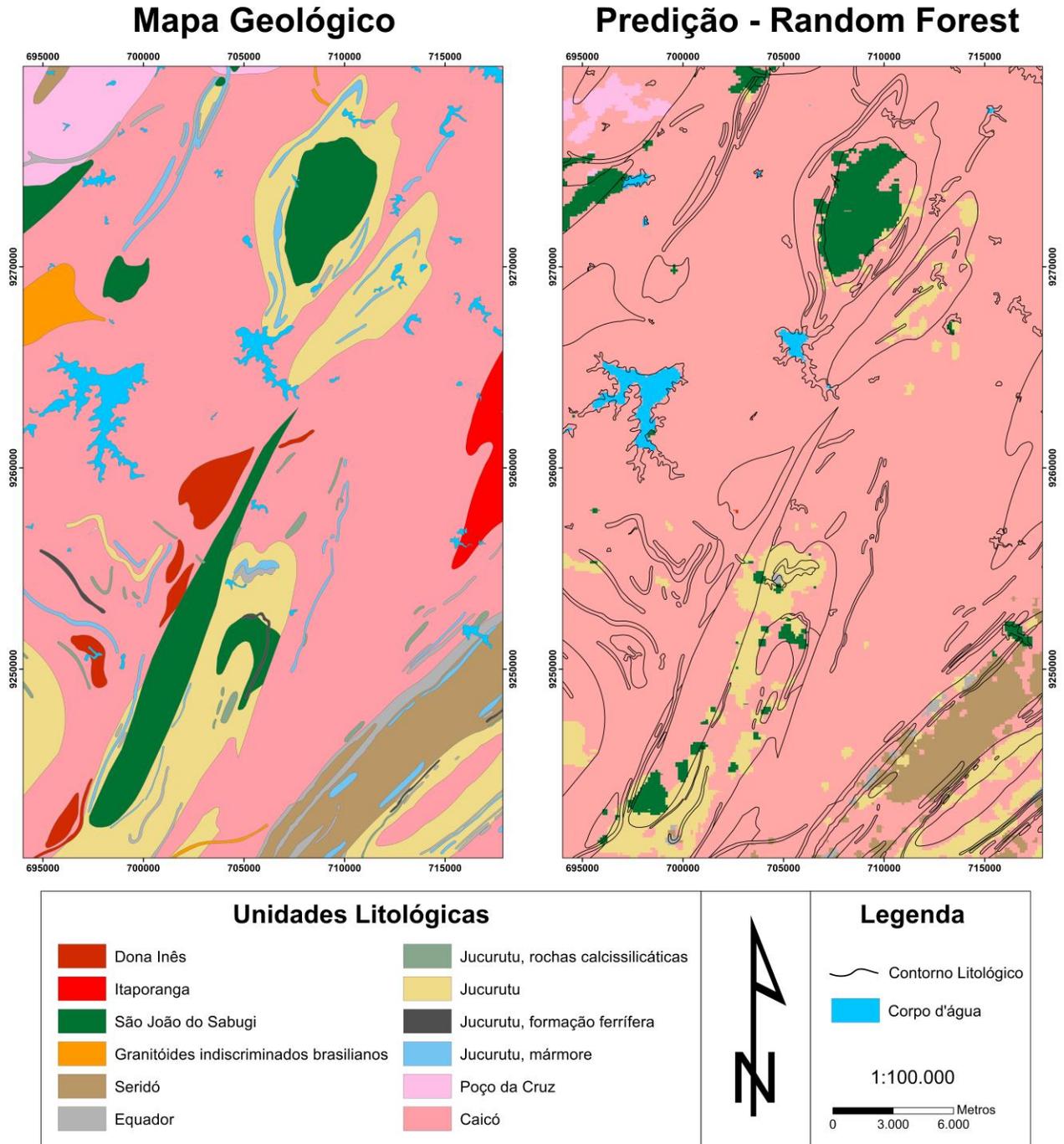


Figura 2 - Mapa de probabilidade da litologia Suíte Intrusiva São João do Sabugi no mapeamento litológico preditivo.

Figura 3 - Comparação entre o mapa litológico da área segundo Costa et al. (2018) e mapa preditivo classificado pelo algoritmo *random forest*. Os contatos litológicos no mapa preditivo estão sobrepostos para ajudar na comparação.



Na figura 3, temos a comparação entre o mapa litológico segundo Costa et al. 2018 e o mapa litológico preditivo construído. O mapa preditivo produzido pelo algoritmo *random forest* tem uma predição de 70,4% em relação aos dados geológicos reais. Segundo Costa et al. (2019), essa porcentagem incompatível tem três fatores como responsáveis: 1) classificação incorreta de amostras, 2)

predições incorretas e/ou 3) correlações novas que podem ser usadas para melhorar o mapa geológico atual.

O mapa litológico preditivo mostrou regiões de possíveis reavaliações, principalmente para Formação Jucurutu e Suíte Intrusiva São João do Sabugi. Essas duas litologias têm uma interligação expressiva na área, discutida por Paiva et al. 2021. Os autores concluíram que os xenólitos

metassedimentares parcialmente digeridos do Grupo Seridó, grupo que o Jucurutu é pertencente, são uma das evidências (de campo e petrográficas) de processos magmáticos em sistema aberto durante a evolução do São João do Sabugi. Na região nordeste, a Fm. Jucurutu bordejando continuamente o corpo conhecido como Stock Boa Vista no mapa litológico. Já no mapa preditivo, o Jucurutu perdeu área para o Complexo Caicó. O Stock Boa Vista não tem mudanças na sua geometria. Essa afirmação pode ser corroborada pela geofísica da região, onde a resposta desse corpo é bem destacada. Já na região sudoeste da área, onde está localizado o Pluton São João do Sabugi demonstra mais semelhanças com o Complexo Caicó do que com a suíte intrusiva. O corpo intrusivo que é descrito por Costa et al. 2018, como alongado e contínuo, no mapa preditivo aparenta ser pequenas intrusões no embasamento cristalino. Outra sugestão de reavaliação é o refinamento para o embasamento cristalino da área.

Como essa unidade tem uma variedade litológica representativa e algumas semelhanças com as litologias de outras unidades, alguns pontos podem ter sido interpretados erroneamente como rochas do Caicó. Com o refinamento dos dados litológicos, será possível aumentar a predição em posteriores processamentos preditivos com algoritmo *random forest*.

Tabela 1 - Amostragem das cinco principais unidades litológicas da área, sua porcentagem prevista pelo processamento e na última coluna, a segunda unidade que foi mais prevista para aqueles pontos, seguindo o modelo de Costa et al, 2019.

Unidade Litológica	Amostras Reais	Porcentagem Prevista	Segunda Unidade Mais Relacionada
Complexo Caicó	37.728	71.1%	Fm. Jucurutu (18.5%)
Fm. Jucurutu	9086	59.6%	Fm. Equador (18.2%)
Suíte Intrusiva São João do Sabugi	4243	67.5%	Fm. Jucurutu (9.3%)
Fm. Seridó	2976	67.3%	Fm. Equador (22.9%)
Suíte Poço da Cruz	1756	84.3%	Suíte Int. São João do Sabugi (3.4%)

Outra correlação observada por Costa et al. 2019, classes com menores amostragens tendem a ter uma maior predição. A tabela 1 mostra as cinco unidades litológicas com maiores quantidades de amostras na área de estudo. Vemos que Suíte Poço da Cruz tem a menor amostragem entre as litologias da tabela e tem uma porcentagem prevista de 84.3%. Outra relação que pode ser vista nessa tabela, as semelhanças petrográficas entre as unidades. O Complexo Caicó possui 37728 amostras e apresenta uma variação composicional na

área e tem semelhanças com outras unidades, exemplo a Formação Jucurutu.

Conclusões

O uso do *machine learning*, principalmente do algoritmo *random forest*, trouxe uma nova forma de interpretação de dados geofísicos e geológicos já existentes. A utilização do RF no lugar de outros algoritmos, é baseada no trabalho de Cracknell e Reading (2014), onde demonstra que RF superou os quatro métodos em resultados precisos com parâmetros iniciais mais simples e menos carga de processamento em comparação aos outros algoritmos. O *random forest* possibilitou a produção de um mapa preditivo litológico, além de um mapa de probabilidade para a litologia Suíte Intrusiva São João do Sabugi. Com o mapa preditivo litológico, foi possível realizar uma comparação com o mapa litológico e realizar algumas reavaliações de algumas áreas. Essas áreas reavaliadas podem ser sugestões para um refinamento do mapeamento litológico no estado do Rio Grande do Norte, principalmente em relação a Suíte Intrusiva São João do Sabugi.

Agradecimentos

O Departamento de Geologia (DGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e ao Programa de Iniciação Científica da Universidade do Rio Grande do Norte pelo incentivo financeiro.

Referências

Costa, Alan Pereira da et al. Carta geológica-geofísica: folha SB.24-Z-B-IV Serra Negra do Norte. Recife: CPRM, 2018.1 mapa color. Escala 1:100.000. (Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil).

Costa, Iago Sousa Lima & Felipe Mattos Tavares & Junny Kyle Mastop de Oliveira. 2019. Predictive Lithological Mapping through Machine Learning Methods: A Case Study in the Cinzento Lineament, Carajás Province, Brazil. *Journal of the Geological Survey of Brazil* 2 (1):26-36. <https://doi.org/10.29396/jgsb.2019.v2.n1.3>.

Cracknell, Matthew & Reading, Anya. 2014. Geological mapping using remote sensing data: a comparison of five machine learning algorithms, their response to variations in the spatial distribution of training data and the use of explicit spatial information. *Computers & Geosciences*, 63, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.008>.

Cracknell, Matthew & Reading, Anya & McNeill, Andrew. 2014. Mapping geology and volcanic-hosted massive sulfide alteration in the Hellyer-Mt Charter region, Tasmania, using Random Forests (TM) and Self-Organising Maps. *Australian Journal of Earth Sciences*, 61, 287-304. <https://doi.org/10.1080/08120099.2014.858081>

Harris, Jeff & Grunsky, Eric. 2015. Predictive lithological mapping of Canada's North using Random Forest

classification applied to geophysical and geochemical data. *Computers & Geosciences*, 80, 9-25. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.03.013>

Jardim de Sá, Emanuel F. 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Brasília, Tese Doutorado. Universidade de Brasília.

Kuhn, Steve & Cracknell, Matthew & Reading, Anya. 2018. Lithological mapping using Random Forests applied to geophysical and remote sensing data: a demonstration study from the Eastern Goldfields of Australia. *Geophysics*, 83(4), 1-37. <https://doi.org/10.1190/geo2017-0590.1>.

Paiva, Dayvison & Vilalva, Frederico & de Souza, Zorano & Nascimento, Marcos. (2021). Open-system magmatic evolution and crystallization conditions of the Ediacaran shoshonitic rocks from the São João do Sabugi Pluton, Borborema Province, NE Brazil. *Brazilian Journal of Geology*. 51. 10.1590/2317-4889202120200040.

Paiva, Dayvison & Vilalva, Frederico & Nascimento, Marcos & Alves, Adriana. (2019). Petrografia e litoquímica de rochas gabroicas aflorantes a NE de São João do Sabugi, porção sul do estado do Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 28., 2019, Aracaju. Anais.... Disponível em < www.28sgn.com.br>. Acesso em 20 abr. 2021.