

# GEOBOTÂNICA FENOLÓGICA POR SENSORIAMENTO REMOTO EM CASTELO DOS SONHOS, PA: UMA APLICAÇÃO GEOLÓGICA DE IMAGENS DO SENSOR RAPIDEYE

Gabriel Monteiro Gutierrez  
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida  
Caetano Juliani

## INTRODUÇÃO

A relação entre a variabilidade florística da Floresta de Terra Firme e o substrato geológico é tema bem estudado pela literatura ecológica, como em Tuomisto *et al.* (2003), Higgins *et al.* (2012) e Figueiredo *et al.* (2014), mas nem sempre considerado pela literatura geológica. Revendo os trabalhos acima citados e literatura relacionada, conclui-se que as florestas amazônicas são divididas em unidades discretas relacionadas a formações geológicas e suas propriedades edáficas. Nesta pesquisa considera-se ainda aspectos da fenologia vegetal, o estudo dos fenômenos cíclicos da vegetação e processos ambientais cíclicos, notadamente o clima. Ou seja, para um mesmo clima diferentes espécies respondem diferentemente. A geobotânica considera os diferentes comportamentos das coberturas vegetais em função do meio físico onde se estabelece. Para o geólogo o uso do sensoriamento remoto permite abordar, à distância, parte desta influência do substrato geológico nas plantas. E, sem conhecimento de botânica, busca o geólogo interpretar na variabilidade tonal nas imagens resultantes a fotogeologia. E há diversas imagens de sensoriamento remoto de acesso gratuito, inclusive as de desenho especificamente para vegetação utilizadas neste trabalho, adquiridas pelo governo brasileiro junto a empresa alemã RapidEye AG em 2011.

Esta pesquisa insere-se numa abordagem por diversos sensores remotos na área do depósito aurífero de Castelo dos Sonhos. Segundo Santos (2003) a Formação Castelo dos Sonhos se localiza nas proximidades do limite entre os domínios Tapajós (pertencente à Província Tapajós – Parima) e Iriri – Xingu (pertencente a Província Amazônia Central). Constitui-se de três unidades metassedimentares, metarenitos na base, metaconglomerados na porção intermediária e metarenito no topo (Appleyard *et al.*, 2016). Os metarenitos da base e topo possuem características semelhantes, com granulação variando de areia média a grossa, com seixos dispersos e estruturas bem preservadas, com acamamento (S0) ondulado e estratificações cruzadas locais (Appleyard *et al.*, 2016). Os metarenitos se encontram fortemente silicificados, mas a presença de vênulas e veios de quartzo é rara. É também comum a ocorrência de ferruginização, que resulta em manchas de hidróxido de ferro e fraturas preenchidas por argilas brancas e vênulas de argila, possivelmente hidrotermais. Estas rochas são formadas por aproximadamente 95% de quartzo, ocorrendo também muscovita, clorita, magnetita, hematita, monazita e zircão (Queiroz, 2015).

A maior parte da mineralização, interpretada como do tipo paleoplacer modificado, hospeda-se em conglomerado polimítico com clastos de quartzo de veios e, em menor proporção, de arenito, formação ferrífera e xistos (Appleyard *et al.*, 2016). A matriz está fortemente silicificada e é formada principalmente por quartzo e muscovita, ocorrendo em menor proporção magnetita, hematita, clorita, turmalina, monazita e zircão (Queiroz, 2015). A partir de datações próprias e da literatura de grãos de zircão detriticos Klein *et al.* (2017) concluem que estas rochas foram formadas entre 2050 e 2011 Ma. As rochas da formação foram

localmente deformadas e milonitizadas em regime dúctil em intensidade variada. Também foram afetadas por deformação rúptil e são comuns fraturas e falhas menores multidirecionais que podem localmente cortar a foliação milonítica. Estas fraturas normalmente se encontram preenchidas por hidróxido de ferro (Queiroz, 2015).

Este trabalho, ao mesmo tempo em que indica a aplicabilidade das imagens RapidEye ao abordar o depósito aurífero de Castelo dos Sonhos, procura acrescentar, em grandes traços, algum detalhamento ao mapa geológico disponibilizado pela literatura.

## MÉTODOS

Inicialmente obteve-se na internet junto ao Earth Explorer a imagem mais antiga disponível do sensor TM (satélite Landsat 5) para examinar a cobertura vegetal do platô da Formação Castelo dos Sonhos sem desmatamento. Como atualmente a porção oeste daquela elevação é recoberta por vegetação rala era essencial, em uma abordagem geobotânica, verificar se esta condição era natural ou antrópica. Em acréscimo estas imagens permitiriam analisar as principais estruturas presentes, inclusive eventuais estruturas circulares, considerando a presença de eventos vulcânico–plutônicos próximos ao platô. A resolução espacial de 30 m e as sete bandas espectrais (entre visível e infravermelho ondas curtas) foi considerada adequada para o objetivo. Apenas composições coloridas foram feitas destas imagens.

Para a abordagem geobotânica foram escolhidas as imagens RapidEye. Estas imagens são obtidas por uma constelação de cinco microssatélites que imageiam diariamente  $4 \times 10^6$  km<sup>2</sup>. O sensor obtém imagens ortoretificadas com resolução espacial de 5 metros em cinco bandas espectrais (visível e infravermelho próximo: 440 – 510 nm, 520 – 590 nm, 630 – 685 nm, 690 – 730 nm e 760 – 850 nm) especialmente voltadas à análise da vegetação. O governo federal do Brasil, através do Ministério do Meio Ambiente (MMA), contratou em 2011 da RapidEye AG (atualmente Planet Labs Inc.) a cobertura de todo o território brasileiro em quatro datas (entre 2011 e 2015). O objetivo principal do projeto governamental foi apoiar a implantação do Cadastro Ambiental Rural. Estas imagens são de acesso livre por instituições públicas de ensino e pesquisa, acessadas via o Geo Catálogo MMA. Estas imagens não parecem ter despertado interesse em aplicações de geologia de exploração ou mesmo como ferramenta auxiliar no mapeamento geológico na Amazônia.

A boa resolução espacial e a complementação por banda na região de 690 – 730 nm ao desenho clássico de sensores de alta resolução espacial (visível e uma banda no infravermelho próximo) dá grandes vantagens a esse sensor. Aquela banda situa-se em região espectral muito sensível a alterações fenológicas foliares.

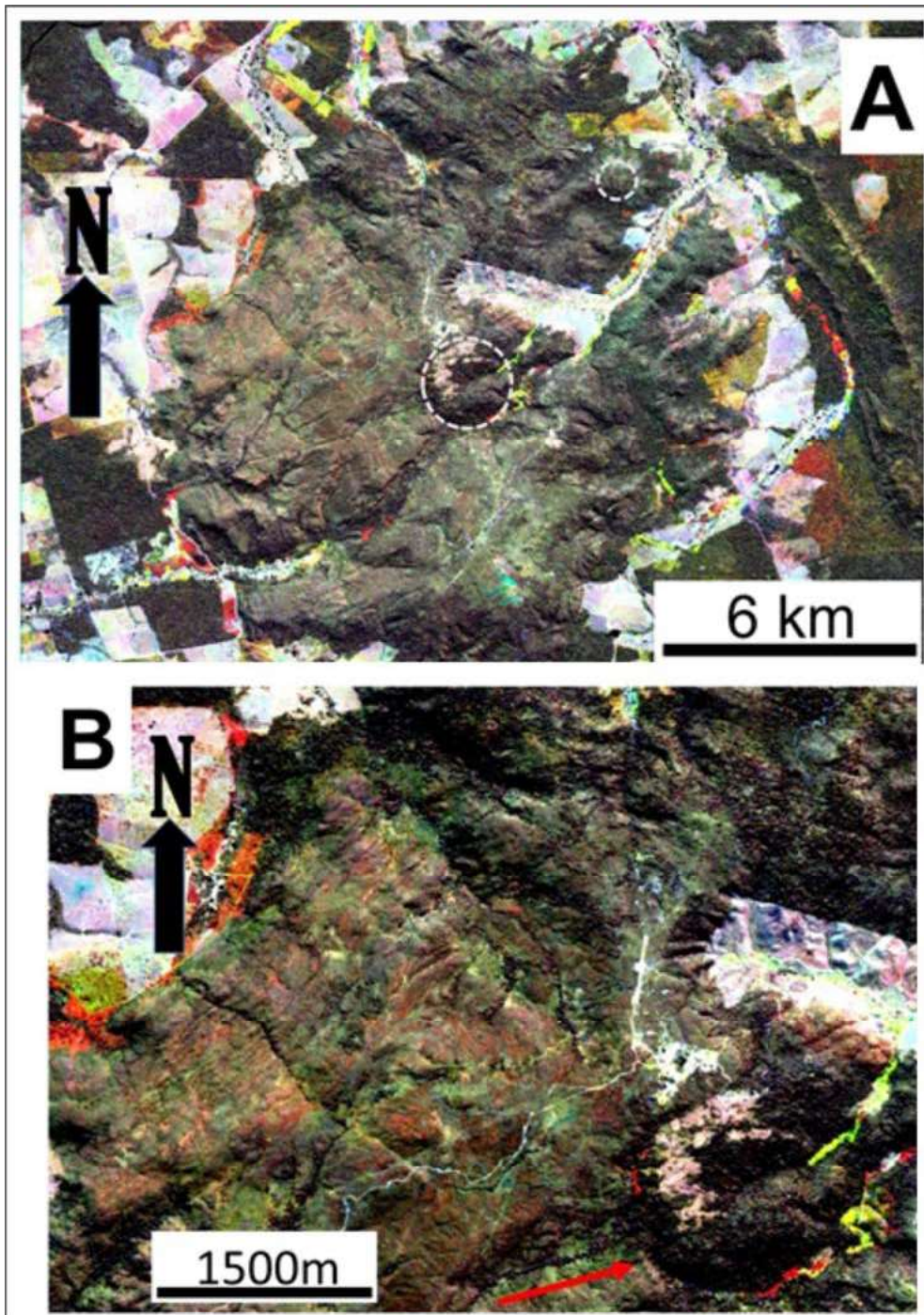
Foram obtidas junto ao MMA quatro imagens (02/7/2015, 21/6/2014 e 20/7/2012 e uma de 2013 que apresentou problemas de georeferenciamento). Apresenta-se aqui apenas uma abordagem muito simples, entretanto, pouco presente na literatura: composições coloridas de uma mesma banda espectral e de diferentes datas.

## RESULTADOS

A imagem TM Landsat de junho de 1984 mostra que o platô de metassedimentos onde se encontra o depósito de Castelo dos Sonhos tem apenas as porções nordeste e leste recobertas por floresta. A elevação alongada com direção NW, também considerada pela literatura como de rochas da Formação Castelo dos Sonhos é recoberta por vegetação rala. Não há qualquer evidência de garimpos à época e pode-se considerar como natural a ausência de floresta em metade do platô e em sua sequência para sul. Além da notável diversidade nas coberturas vegetais a textura sugere ao menos duas zonas homólogas, indicando discordância com o mapa geológico de Klein *et al.* (2017). Ao menos duas possíveis estruturas circulares se destacam nessas imagens.

Na Figura 1A é apresentada uma composição colorida de três datas – 02/7/2015, 21/6/2014 e 20/7/2012 em RGB de imagens da banda *Red Edge* (690 – 730 nm) do sensor RapidEye. Além das áreas desmatadas no platô veem-se desmatamentos fora do platô e diversos garimpos subindo as drenagens, já na Formação Castelo dos Sonhos. Por uma questão de disponibilidade de espaço a imagem está em pequena

escala, mas é possível ver que a porção norte apresenta uma foliação WNW expressiva, contrastando com a foliação NE na porção oeste. Estão marcadas duas estruturas circulares que possivelmente interceptam a foliação. A Figura 1B é uma ampliação que permite ver não apenas a foliação NE (provável acamamento) como o fechamento de uma sinforma. Na porção sudeste desta figura vê-se uma estrutura circular expressiva, também muito clara nas imagens TM Landsat anteriores à alteração da vegetação natural na área. Acrescente-se que em imagens do sensor WorldView2, de muito alta resolução espacial (46cm), vê-se variação na vegetação associada a esta possível estrutura circular. Há ainda diversos lineamentos, parte sendo deslocados por falhas mais recentes.



**Figura 1 - Composição colorida de três datas (02/7/2015, 21/6/2014 e 20/7/2012 em RGB) da banda 4 do sensor RapidEye (690 – 730nm). Em A o platô onde aflora a Formação Castelo dos Sonhos e duas estruturas circulares marcadas. Em B uma ampliação da porção centro-oeste do platô, mostrando o acamamento realçado por diferenças sazonais na vegetação e uma estrutura circular no extremo sudeste da imagem indicada por seta.**

## DISCUSSÃO

A geologia apresentada em Appleyard *et al.* (2016), essencialmente a mesma de Klein *et al.* (2017), considera todo o platô como rochas metassedimentares da Formação Castelo dos Sonhos, relativamente pouco deformadas. As imagens indicam que as estruturas rúpteis são complexas e sugerem, junto com a textura e cobertura vegetal, ao menos duas sequências diferentes. O flanco NW da sinforma mostrada em Appleyard *et al.* (2016) e em Klein *et al.* (2017) é bem observado nas imagens graças à diversidade espectral das camadas. A porção norte do platô, com foliação NW aproximadamente perpendicular à NE da região oeste, sugere ser uma sequência distinta, mais deformada e apenas justaposta à sequência a sul. Observe-se que esta deformação NW não afeta os metassedimentos da Formação Novo Progresso a leste. As estruturas observadas no platô não parecem ter continuidade no embasamento, sugerindo a possibilidade que seja a Formação Castelo dos Sonhos e eventuais sequências justapostas um enorme teto pendente em granitoides, mais antigo que as rochas do Grupo Iriri. Finalmente, há diversas estruturas circulares que podem estar relacionadas a intrusões, sugerindo possível mineralização magmática–hidrotermal sobreposto ao Au detrítico, o que está em acordo com a interpretação de ser o depósito um paleoplacer modificado.

## REFERÊNCIAS

- Appleyard N., Brown A., Srivastava M., Pereira E., Lipson R. 2016. Exploration Target Range for the Castelo de Sonhos Gold Project Pará State – Brasil. National Instrument 43 – 101 Technical Report.
- Figueiredo F. O., Costa F. R., Nelson B. W., Pimentel T. P. 2014. Validating forest types based on geological and land-form features in central Amazonia. *Journal of Vegetation Science*, **25**:198-212.
- Higgins M. A., Ruokolainen K., Tuomisto H., Llerena N., Cardenas G., Phillips O. L., Vásquez R., Räsänen M. 2011. Geological control of floristic composition in Amazonian forests. *Journal of Biogeography*, **38**:2136-2149.
- Klein E.L., Rodrigues J.B., Queiroz J.D.S., Oliveira R.G., Guimarães S.B., Chaves C.L. 2017. Deposition and tectonic setting of the Palaeoproterozoic Castelo dos Sonhos metasedimentary formation, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton, Brazil: age and isotopic constraints. *International Geology Review*, **59**:864-883.
- Queiroz J.D.S. 2015. Aspectos geológicos e metalogenéticos do depósito de ouro hospedado em metaconglomerados e metarenitos paleoproterozoicos Castelo de Sonhos, Província Tapajós, Sudoeste do Pará. MS dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 136p.
- Santos J.D. 2003. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil Central. In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (Eds.) *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: Texto, mapas & SIG*. Brasília, CPRM, p.169-226.
- Tuomisto H., Ruokolainen K., Yli-Halla M. 2003. Dispersal, environment, and floristic variation of western Amazonian forests. *Science*, **299**:241-244.