

DIAGNÓSTICO DE OCORRÊNCIAS DE BACIAS SEDIMENTARES CENOZÓICAS E SUA RELAÇÃO COM ESTRUTURAS DE MINERAÇÃO

OCCURRENCES OF CENOZOIC SEDIMENTARY BASINS DIAGNOSIS AND ITS RELATIONS TO MINING STRUCTURES

Ana Paula Daher ¹; Alberto Amaral ²

Resumo – As coberturas recentes existentes no Quadrilátero Ferrífero são genericamente caracterizadas a nível mesorregional, de modo geral, classificados principalmente com base na morfologia de deposição. Assim, ainda há uma compreensão pouco satisfatória dos processos genéticos desses depósitos, que não detalha suficientemente características do material, criação de espaços de acomodação este, de dinâmica morfológica e de ambientes de sedimentação desses materiais. Por conseguinte, ficam em segundo plano a caracterização mais objetiva em termos de comportamento geotécnico desses materiais. Em muitos trabalhos, não são descritos, caracterizados e compreendidos à luz da complexidade de materiais que podem apresentar. O artigo busca apresentar o conhecimento atualmente existente em termos de distribuição e caracterização dos depósitos recentes do Quadrilátero Ferrífero. Visa também relacionar espacialmente a localização das estruturas operacionais de mineração, em especial barragens, pilhas e cavas assentes nesses depósitos já conhecidos. Destaca-se o potencial de estudo desses materiais, tanto em termos de processos geológicos quanto em relação às características geotécnicas desses materiais e sua relação com as estruturas subjacentes.

Abstract – The sedimentary cover existing in Quadrilátero Ferrífero are yet shallow in characterization, mostly described based on its deposition morphology. As a consequence of that, there is still an unsatisfactory knowledge of the genetic processes of these deposits. It is not discussed the characteristics of these materials, the geometry of the basin or the sedimentation environment of its formation. Even low in priority remains the geotechnical behavior of these materials. Although very complex in several aspects, many papers fail to indicate this complexity. This paper aims to provide a synthesis of the knowledge of the distribution and characterization of these recent sedimentary covers in Quadrilátero Ferrífero. It will also show the relation between these covers and nowadays mining structures, such as dams, open pit and waste dumps. The authors will highlight the potential of advances in studying the geological processes that generates these deposits, as well as its geotechnical characteristics and its relation to the structures listed.

Palavras-Chave – Quadrilátero Ferrífero; depósitos recentes; fundação.

¹ Mestranda, Universidade Federal de Minas Gerais, (31) 999237795, anap.daher@gmail.com

² Geól., MSc, DF+ Engenharia, aamaral@dfmais.eng.br

1. INTRODUÇÃO

No Quadrilátero Ferrífero (QF), o conhecimento dos materiais de retrabalhamento das rochas Proterozoicas e Arqueanas dos Supergrupo Minas e Rio das Velhas, ainda é bastante limitado. As coberturas recentes não são caracterizadas com riqueza de detalhes, tal qual as outras unidades pré cenozoicas. Assim, de certo modo a compreensão dos processos de sedimentação que dão origem a eles ainda não é de todo satisfatória.

Conhecendo a importância do QF no cenário da mineração nacional, muito já se conhece a respeito dos litotipos aflorantes na região. De forma mais aplicada, a caracterização de fundações de estruturas é parte fundamental da avaliação de desempenho e estabilidade delas. A compreensão dos processos geológicos de gênese das unidades que compõem a fundação é uma etapa muito importante dessa caracterização. Além de apresentar a distribuição espacial dos materiais também permite correlacionar melhor as propriedades geotécnicas dos materiais esperados.

O trabalho irá apresentar uma síntese do conhecimento atual desses depósitos recentes. Se indicará sua localização e será apresentada uma comparação com as estruturas de mineração atualmente conhecidas. O contexto geológico local, em termos de descrição das unidades sedimentares, é de certa forma limitado, e as informações geotécnicas existentes sobre esses materiais são ainda mais limitadas. A relação entre a distribuição desses materiais e as estruturas operacionais de mineração é direta e, potencialmente, subestimada.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região do Quadrilátero Ferrífero, definido por Dorr, (1969), abrange uma área de mais de 7000km² e localiza-se na porção sudeste do Cráton São Francisco. Corresponde a uma região de grande interesse econômico devido aos depósitos de grande tonelagem e de classe mundial, sendo, por esse motivo, e por apresentar grande complexidade lito estrutural, uma das regiões mais estudadas no Brasil. Apresenta uma subdivisão nas seguintes macros unidades: A) Embasamento Cristalino; B) Supergrupo Rio das Velhas; C) Supergrupo Minas; D) Supergrupo Estrada Real; e E) Depósitos Cenozoicos.

As ocorrências de coberturas sedimentares cenozoicas vão desde o Paleógeno até o Neógeno (Lobato *et al.*, 2005). A cartografia mais recente relaciona esses depósitos às rochas do Supergrupo Minas, com ocorrências muito mais restritas em regiões cujo substrato é o Supergrupo Rio das Velhas (Figura 1).

Tem havido uma significativa evolução na cartografia e distinção desses depósitos recentes no Quadrilátero Ferrífero. Em especial nos anos 2000, a compilação de dados regional feita por Baltazar *et al.* 2005, Cavalcanti *et al.*, 2016 e Endo *et al.* 2019, indica aumento em área de depósitos recentes cartografados. Além disso, o trabalho mais recente, apresentado em Castro e Varajão (2020), propõe uma subdivisão estratigráfica desses materiais, de forma inédita, considerando alguns, poucos, trabalhos que apresentam datação relativa e/ou bioestratigráfica de alguns desses depósitos.

Essa subdivisão de cobertura recente em função da idade é feita considerando as unidades que são bem detalhadas e têm essa informação. As unidades de cobertura recentes são consideradas aquelas correspondentes a coberturas aluviais a elúvio coluvionares e de depósitos sedimentares em bacias restritas, do recente a 66 M.a. Aquelas unidades que não apresentam estudo detalhado de fácies sedimentares e bioestratigrafia são consideradas genericamente como depósitos terrígenos. Com isso, complementa-se a coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero, acrescentando as unidades Fanerozoicas a uma compilação que, anteriormente, apenas tratava do Arqueano ao Proterozoico.

Em termos de características, essas unidades apresentam uma diversidade muito grande de materiais, contando com ampla variação vertical e lateral de fácies, particularmente caracterizados,

do ponto de vista estratigráfico em Maizatto (2001), Rossi (2014) e Castro (2017), indicando bacias morfológicamente restritas de caráter fluvio lacustre a coluvionar. Esses depósitos são caracterizados por afloramentos e por testemunhos de sondagem. Sem uma caracterização estratigráfica tão detalhada, muitas vezes pela falta de bons afloramentos, são genericamente chamados de depósitos terrígenos, de modo geral, concebidos de origem tanto *in situ* quanto transportado. Esses depósitos já têm ocorrência indicada em Dorr (1969), e, apesar de não apresentar um processo de gênese clara, esses depósitos em especial têm tido abrangência expandida à medida que são entendidos como produtos de interação de transporte de material, processos pedogenéticos e até tectônica cenozoica.

Considera-se que esses depósitos recentes possam ser subdimensionados. Isso provavelmente se deve à escala dos mapeamentos compilados em trabalhos mais regionais. Em trabalhos de detalhe, 1:25.000 a 1:5.000, por exemplo, é mais comum que se destaquem esses depósitos. Entretanto, a caracterização deles ainda fica em segundo plano por uma série de motivos, sendo alguns deles relacionados a prioridades de caracterização e levantamento, que em geral, favorecem os aspectos estratigráficos e estruturais, bastante complexos no Quadrilátero Ferrífero e que exige razoável tempo de dedicação e estudo. Portanto, trabalha-se com a cartografia já consolidada desses depósitos, indicando o amplo campo de detalhamento desses depósitos e pesquisa em termos de abrangência. Compreende-se que em muitas áreas esses depósitos recentes podem estar erroneamente caracterizados como solos residuais e lateríticos.

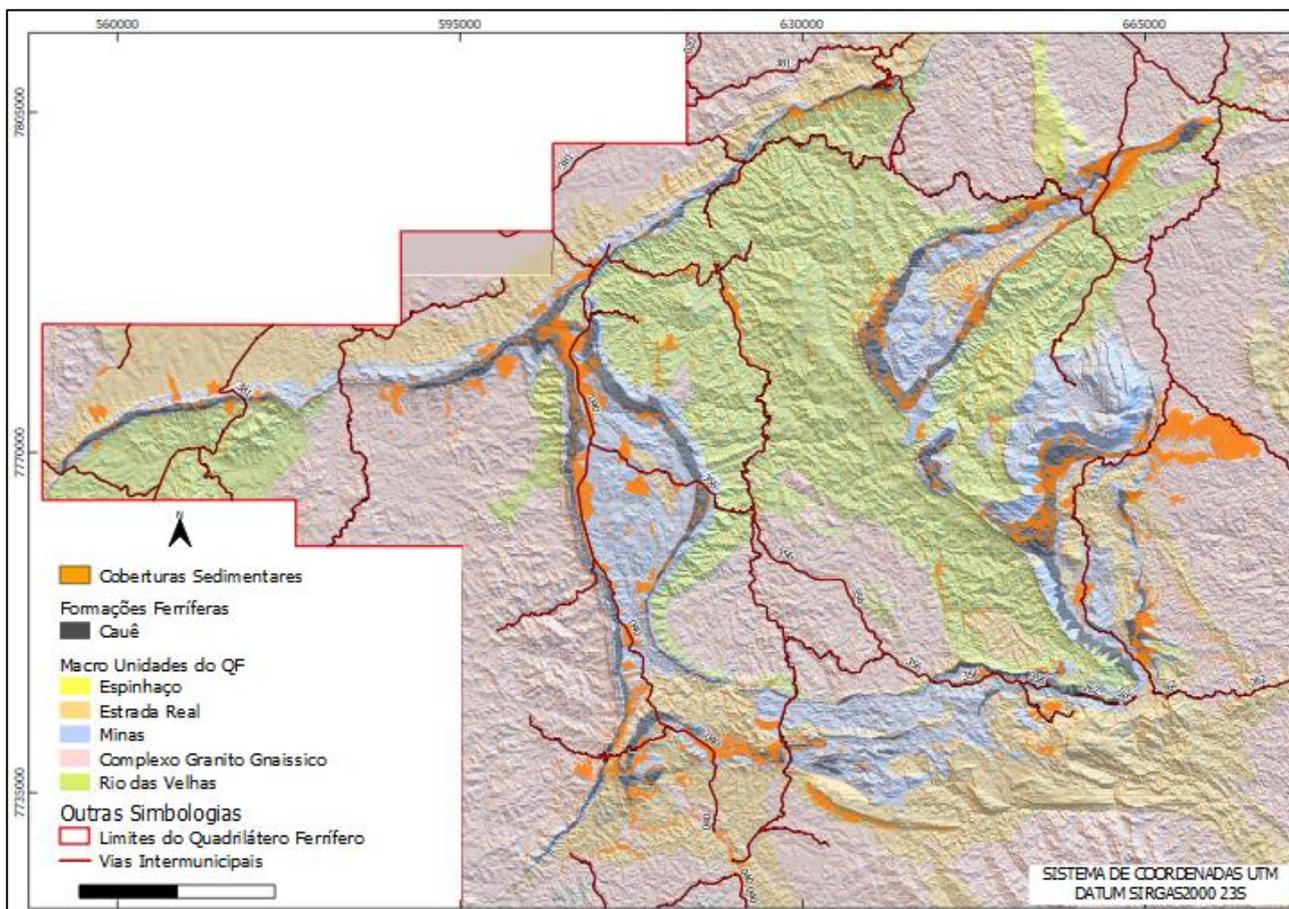


Figura 1. Compilado litoestratigráfico para a região do Quadrilátero Ferrífero. Modificado de Endo *et al.*, 2019.

3. HISTÓRICO DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Trabalhos que apresentem características geotécnicas desses materiais sedimentares recentes não são comuns. Isso provavelmente se dá pelo fato de que a ocorrência já conhecida desses materiais, em especial em cavas, representa uma porção restrita em relação aos outros

materiais identificados nessas áreas. Com isso, a parametrização de outros materiais, em especial rochosos têm prioridade. Além disso, muitas outras estruturas assentes em materiais tidos como depósitos recentes, não apresentam caracterização geológica adequada. Portanto, dificilmente terá parametrização que abranja todas as nuances de comportamento desses materiais.

Dos trabalhos que, de fato, apresentam caracterização geotécnica dos materiais de depósitos recentes são mencionados a seguir. Junior (2005) apresenta parametrização e análises de estabilidade para taludes em depósito terciário na mina de Capão Xavier, no Sinclinal Moeda. D'Alessandro (2007) trabalha com avaliação de estabilidade na mina Casa de Pedra, sudoeste do Quadrilátero, que apresenta localizado depósito terciário. Valentim (2016), que apresenta parametrização para canga e depósitos terciários, apesar de não tratar especificamente dessas unidades ao avaliar a classificação geomecânica de rochas em uma cavidade nas proximidades da Mina de Brucutu, no nordeste do Quadrilátero. Silva (2015) apresenta parâmetro para a canga da mina de Alegria. Todos esses trabalhos dão visibilidade a esses materiais a aos parâmetros geomecânicos e geotécnicos considerados adequados para eles.

4. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Inicialmente se fez um apanhado bibliográfico de modo a compreender a relação dos sedimentos cenozoicos e como é realizada a sua parametrização no contexto do Quadrilátero Ferrífero. Isso levou à necessidade de visualizar em planta as unidades sedimentares e relacioná-las às estruturas de mineração que são alvo da atual discussão.

A ANM disponibiliza online uma ferramenta de consulta de dados sobre as barragens que estão inventariadas a nível nacional. O Cadastro Nacional de Barragens de Mineração apresenta um mapa iterativo que permite o *download* de registro dessas estruturas a partir de critérios como classificação da estrutura ou nível de alerta e emergência. Com isso, se fez o *download* em formato KML das barragens cadastradas e classificadas em relação ao nível de alerta e emergência. Isso foi feito para que se tivesse a referência de localização dessas estruturas, que é disponibilizada na forma de pontos que determinam a referência do maciço da barragem em questão.

A partir dessa referência, o KML baixado do site foi visualizado no Google Earth TM. No próprio *software* se delimitou com polígonos a região de abrangência de maciços e reservatório das estruturas indicadas no arquivo. Só foram delimitadas estruturas em que foi possível distinguir claramente os limites do maciço e reservatório, uma vez que foram identificados casos em que o ponto cadastrado na ANM significa a existência de uma estrutura, que não foi claramente distinguida na imagem de satélite. Após a delimitação das barragens cadastradas, foram também delimitadas as regiões de cava e pilhas que puderam ser identificadas pela imagem de satélite existente.

Uma vez que realizada a regionalização dessas áreas de estruturas de mineração, fez-se o comparativo, em área, com as regiões de ocorrência de depósitos sedimentares recentes cartografados em Endo *et al.* (2019). Considerou-se interferência os casos em que há alguma sobreposição entre os polígonos que delimitam as estruturas em questão com os polígonos que representam as coberturas sedimentares. A análise foi feita de forma qualitativa, que indica quantas estruturas apresentam registro de coberturas sedimentares cenozoicas. Em termos de área, se indica quanto representam a área de ocorrência dessas estruturas em relação à área total do QF.

Serão discutidas as implicações das ocorrências sedimentares e do conhecimento geotécnico atualmente existente sobre esses materiais. Ainda, se indicará possibilidades de avanços no conhecimento desses sedimentos e de sua correta caracterização.

5. RELAÇÃO ESPACIAL DOS DEPÓSITOS RECENTES E ESTRUTURAS DE MINERAÇÃO

No Brasil há 900 (consulta em 20/04/2022) barragens registradas no Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, sendo 351 dessas no estado de Minas Gerais. No estado, há 310 estruturas sem nível de emergência declarado, 26 com nível de emergência 1, 10 com nível 2 e 4 com nível 3; além de uma barragem com nível de alerta. As estruturas localizadas no Quadrilátero

Ferrífero, considerando a região de mapeamento geológico a nível regional, corresponde a um total de 263 estruturas. Comparando a localização dessas estruturas com a existência de depósitos recentes atualmente cartografados, percebe-se que uma quantidade razoável de estruturas é construída tendo esses materiais como fundação (Figura 2).

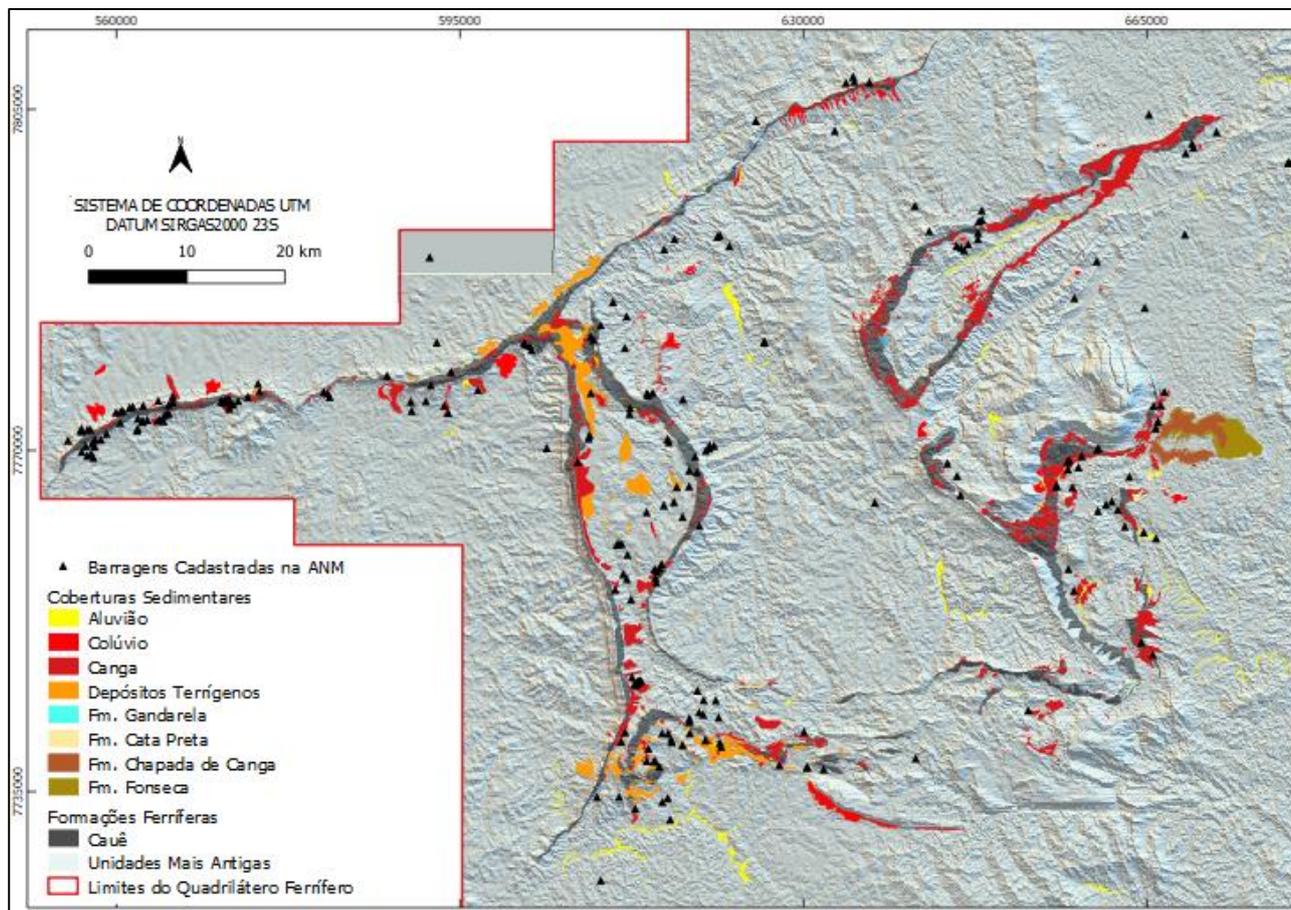


Figura 2. Unidades de cobertura recentes em relação às barragens existentes no estado de Minas Gerais. Modificado de Endo *et al.*, 2019; barragens registradas na ANM, consulta em 20/04/2022.

Após delimitação dos polígonos representativos das barragens, cavas e pilhas, foi feito um inventário da área total representada por cada uma dessas estruturas. Essa área foi relacionada à área total das unidades sedimentares existentes no QF. As unidades sedimentares recentes correspondem a 2,72% da área total do Quadrilátero, cartografada em Endo *et al.* (2019), o que significa 347 km². Já as estruturas delimitadas, barragens, cavas e pilhas, correspondem, em conjunto, a cerca de 1% da área total. Em termos qualitativos, as pilhas e cavas têm maior interferência com as regiões delimitadas como coberturas sedimentares cenozoicas. Há um maior número de regiões que apresentam sobreposição com os polígonos de sedimentos recentes, perfazendo mais de 60% dos registros. As barragens são estruturas que apresentam a menor proporção de interferência, com um total de 27%. A Figura 3 apresenta uma síntese desses dados.

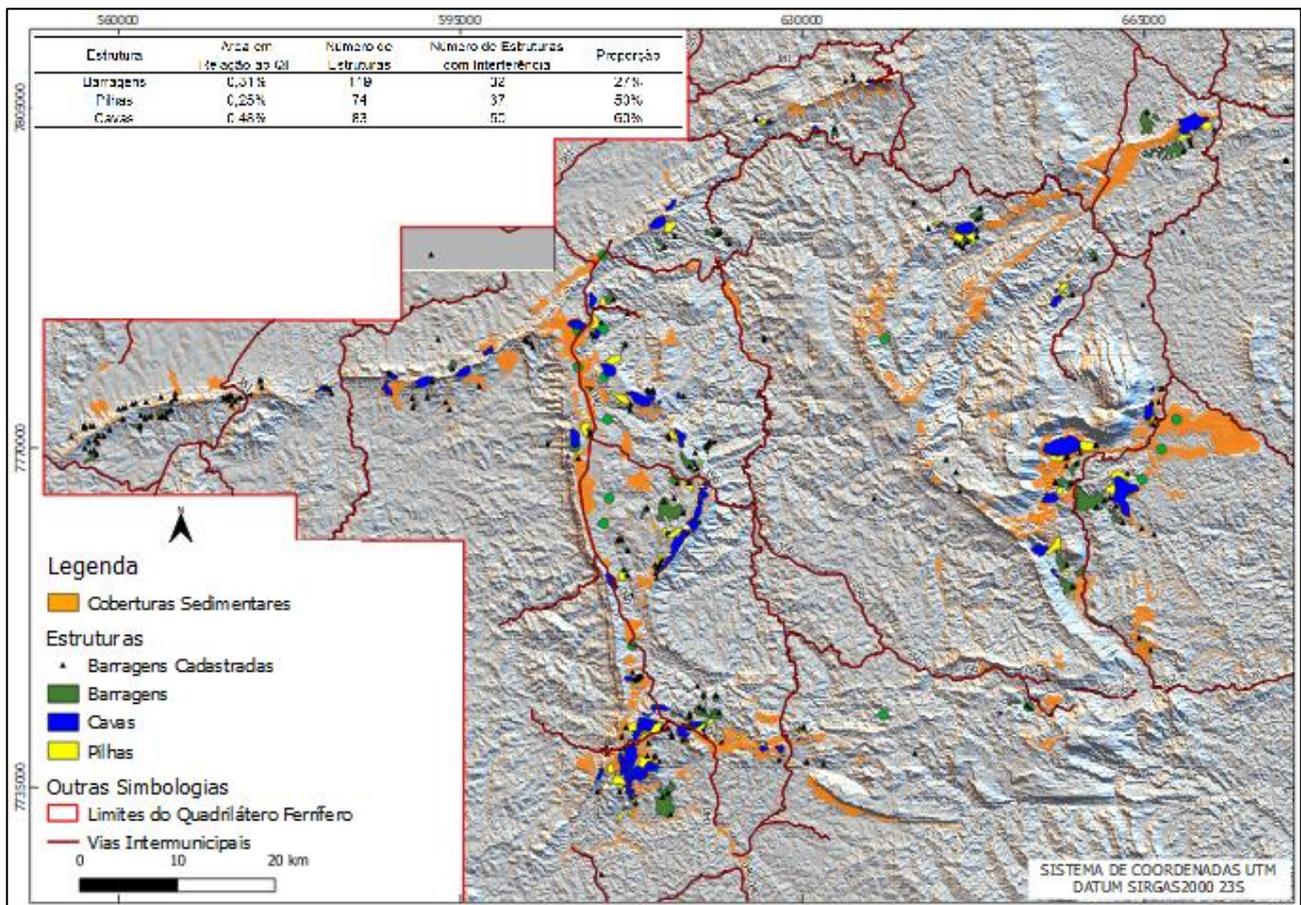


Figura 3. Modelo digital de terreno evidenciando as estruturas delimitadas e sua sobreposição com as coberturas sedimentares mapeadas. Modificado de Endo *et al.* 2019, com material gerado pela autora.

É algo possível e cada vez mais diagnosticado que esses depósitos podem ter sido subdimensionados, tanto em área quanto em profundidade. Isso pode ter ocorrido pelos mais diversos motivos, seja falta de investigações ou limitação nas campanhas de investigação executadas.

Essa compilação abrange as estruturas que foram possíveis identificar por imagem de satélite, partindo do Cadastro Nacional de Barragens de Mineração. Ao considerar outras estruturas operacionais, como pilhas de estéril, rejeito, e cavas, que não apresentam cadastro oficial, é possível que o número de interferências dessas estruturas com depósitos recentes seja ainda maior.

Embora a motivação do atual trabalho seja de diagnóstico, essa análise reforça a importância em conhecer as propriedades geotécnicas desses materiais. O conhecimento claro e objetivo do comportamento geotécnico desses materiais é tão importante quanto maior a quantidade de estruturas que as têm de fundação. Conhecendo os processos de deposição que geram esses depósitos, é possível que a caracterização geotécnica ganhe riqueza de detalhes e assertividade de modelo.

É pertinente que seja alvo de interesse o estudo futuro sobre o comportamento desse material frente à sobrecarga causada por essas estruturas. A permissividade ou não de fluxo aquoso, pode afetar seriamente o desempenho de estruturas existentes.

6. CONCLUSÕES

O atual trabalho, além de evidenciar a distribuição espacial dos materiais considerados depósitos sedimentares Cenozoicos no Quadrilátero Ferrífero, os relacionam com estruturas já existentes nessa mesma área. É destacada a pequena disponibilidade de literatura a respeito de parametrização desses materiais e não há trabalhos que discutam metodologias para caracterizá-los adequadamente. Com base em publicações, o conhecimento das características físicas ou de resistência desses materiais é extremamente limitado. Com isso, a perspectiva do desenvolvimento de trabalhos que classifiquem da forma correta os sedimentos das bacias discutidas é extensa.

É necessário que, no caso das fundações identificadas como depósitos cenozoicos recentes, se compreenda da melhor maneira possível a distribuição das unidades, que está diretamente relacionado aos processos de erosão e de deposição dos materiais. Por serem materiais transportados, é natural que tenham propriedades geotécnicas muito variáveis espacialmente, muitas vezes que apresentam interferência com a estrutura subjacente. Essas características ainda devem ser investigadas de forma abrangente, utilizando técnicas de avaliação *in situ* e com técnicas laboratoriais. Uma vez que são identificadas, o sucesso em prever o seu comportamento será certamente maior.

Apresentou-se nesse trabalho o potencial de pesquisa dessas unidades, tanto em termos geológicos como geotécnicos. A possibilidade de objetos de pesquisa a ser adotada é vasta, bem como a metodologia que pode ser adotada para tal. Cada vez mais será necessário abrir o canal de discussão e abordagem desses materiais como fundação, e isso possibilitará avançar no entendimento desses materiais.

REFERÊNCIAS

BALTAZAR O.F., BAARS F.J, LOBATO L.M., REIS L.B., ACHTSCHIN A.B., BERNI G.V., SILVEIRA V.D. (2005) *Mapa Geológico na Escala 1: 50.000 com Nota Explicativa. Belo Horizonte. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa.* CODEMIG, 68p.

CASTRO P.T.A. (2017) *Geologia da Chapada de Canga.* In: Luciana Hiromi Yoshino Kamino & Flávio Fonseca do Carmo (org.). *Chapada de Canga – Patrimônio natural e cultural de relevante interesse para a conservação.* Instituto Prístino. Capítulo 2: 25-48.

CASTRO, P.T.A., VARAJÃO, A.C. (2020) “O Cenozoico no Quadrilátero Ferrífero” *in* Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Castro *et al.* 2020. p166-193.

D’ALESSANDRO, J.R.P. (2007) “*Análise de Estabilidade do Maciço Rochoso da Mineração Casa de Pedra, Congonhas-Minas Gerais*” Diss. Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 177p.

DORR J. VAN N. II. 2nd. (1969) *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.* In: Professional Paper, Washington, USGS/DNPM, 641-A: 110.

ENDO, I., GALBIATTI H.F., DELGADO C.E.R., OLIVEIRA, M.M.F, ZAPAROLLI, A. DE C., MOURA, L.G.B DE, PERES, G.G., OLIVEIRA A.H. DE, ZAVAGLIA, G., DANDERFER, F.A., GOMES, C.J.S., CARNEIRO, M.A., NALINI, JR.H.A., CASTRO, P. DE T.A., SUITA, M.T. DE F., SEIXAS L.A.R., TAVAZA, E., LANA, C. DE C., MARTINS-NETO, M.A., MARTINS, M. DE S., FERREIRA, F.F.A., FRANCO, A.P., ALMEIDA, L.G., ROSSI, D.Q., ANGELI, G., MADEIRA, T.J.A., PIASSA, L.R.A, MARIANO, D.F., MARIANO, D.F., CARLOS, D.U. (2019) “*Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:50.000*” Ouro Preto, Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP – Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero. Disponível em: <www.qfe2050.ufop.br.>

Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2009.

JUNIOR, I.P. (2005) “*Caracterização Geotécnica e Análise de Estabilidade de Taludes de Mineração em Solos da Mina Capão Xavier*” Diss. Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 162p.

LOBATO, L.M., BALTAZAR, O.F., REIS, L.B., ACHTSCHIN, A.B., BAARS, F.J., TIMBÓ, M.A., BERNI, G.V., MENDONÇA, B.R.V. DE FERREIRA, D.V. (2005) *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa*. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005.

MAIZATTO J.R. (2011) “*Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares*” Diss. Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 333p.

ROSSI, D.Q. (2014) “*Estratigrafia e arcabouço estrutural da região de Fábrica Nova, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.*” Dissertação de mestrado apresentada na Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 103 p.

SILVA, C.C. (2015) “*Análise de Estabilidade de um Talude da Cava de Alegria Utilizando Abordagem Probabilística*” Diss. Mestrado, Escola de Minas, Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, 136p.

VALENTIM, R.F. (2016) “*Classificação Geomecânica da Caverna Natural Subterrânea Bru_0005, Município de São Gonçalo Do Rio Abaixo, MG*” Diss. Mestrado, Escola de Minas, Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, 151p.