

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 2/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

SUMÁRIO

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.0	INTRODUÇÃO	3
2.0	OBJETIVO DO TRABALHO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.0	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	3
4.0	LEGISLAÇÃO VIGENTE	4
5.0	INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	5
6.0	DADOS DE GEOLOGIA ESTRUTURAL	26
7.0	SISMICIDADE NO BRASIL	28
8.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
9.0	EQUIPE TÉCNICA	32
10.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 3/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

1.0 INTRODUÇÃO

A DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos foi contratada pela MOSAIC Fertilizantes para elaborar o Relatório Técnico de Risco Geológico, Estrutural e Sísmico da Barragem BR, localizada no município de Tapira, estado de Minas Gerais. Os relatórios de alteamento e a Carta de Risco da Barragem BR também se encontram em elaboração pela DF+.

Em 25 de fevereiro de 2019 o Estado de Minas Gerais publicou a Lei nº 23.291 que, em seu Capítulo II, Artigo 7º, apresenta a seguinte redação:

“Art. 7º – No processo de licenciamento ambiental de barragens, deverão ser atendidas as seguintes exigências, sem prejuízo das obrigações previstas nas demais normas ambientais e de segurança e de outras exigências estabelecidas pelo órgão ou pela entidade ambiental competente:

I – para a obtenção da LP, o empreendedor deverá apresentar, no mínimo:

(...)

e) estudos sobre o risco geológico, estrutural e sísmico e estudos sobre o comportamento hidrogeológico das descontinuidades estruturais na área de influência do empreendimento;”

2.0 HISTÓRICO DA ESTRUTURA

O projeto inicial e do primeiro alteamento foram elaborados pela Paulo Abib Engenharia, em 1982, atingindo a elevação de 1.180 m. O último alteamento realizado foi até a elevação 1.200 m, com projeto da Leme Engenharia, em 1998. A Geocontrole elaborou, em 2017, um projeto para altear a Barragem BR até a elevação 1.205 m, porém a obra não foi realizada.

Em 2019, foi realizada uma obra de reforço no pé da Barragem BR, para que a mesma atingisse os valores normativos para o Fator de Segurança preconizados pela NBR 13.028:2017. Ainda em 2019, a DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos foi contratada pela MOSAIC Fertilizantes para elaborar o Projeto Conceitual de Alteamento da Barragem BR, que deverá atingir as elevações 1.210 m e 1.230 m. Estes projetos encontram-se em desenvolvimento.

3.0 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Os documentos utilizados para o desenvolvimento do presente relatório estão apresentados na Tabela 3.1. Os documentos foram obtidos através de consulta ao sistema SGPSB, disponibilizados em visita técnica ou foram documentos desenvolvidos pela DF+.

Tabela 3.1 – Documentos de referência

Número do documento	Descrição
PAT-RT-SOND-1097.14-002	Relatório de Sondagem – Barragem – BR

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº MOSAIC -	PÁGINA 4/34
		Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A

Número do documento	Descrição
PAT-RT-SOND-040.2017	Relatório de Sondagem à Percussão, Sondagem Mista e Sondagem à Trado – Barragem – BR
PAT-RT-OSS.063-SOND-2018	Relatório de Sondagem Mista – Barragem – BR
PAT-RT-OSS097-SOND-2018	Relatório de Sondagem à Percussão – Barragem – BR
VG17-092-1-EG-RTE-0070	Estudo – Geral – Revisão Periódica de Segurança de Barragem – Barragem BR – Unidade Tapira – Relatório Técnico
DF19-023-1-EG-RTE-0013	Projeto Conceitual – Diagnóstico de Barragens – Diagnóstico BR – Barragem BR (Tapira) – Relatório Técnico
WBH122-17-MOSC041-RTE-001	Projeto Detalhado – Elaboração As Is (CAJ, CMA e CMT) – Relatório Técnico – CMT – As Is Barragem BR
WBH122-17-MOSC054-RTE-0013	Auditoria Técnica de Segurança 1º Ciclo 2019 – Complexo CMT – Barragem BR – Relatório de Inspeção de Segurança Regular – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança
WBH122-17-MOSC070-RTE0014	Auditoria Técnica de Segurança 2º Ciclo 2019 – Complexo CMT – Barragem BR – Relatório de Inspeção de Segurança Regular – Relatório de Auditoria Técnica de Segurança

4.0 LEGISLAÇÃO VIGENTE

As normas e legislações vigentes utilizadas para o desenvolvimento do presente documento estão expostas a seguir:

- **ABNT**

Nome/Nº	Descrição
NBR 13.028/2017	Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água - Requisitos

- **LEGISLAÇÃO**

Nome/Nº	Descrição
Lei Estadual (MG) Nº 23.291 de 25 de fevereiro de 2019	Institui a política estadual de segurança de barragens
Resolução Nº 13 ANM de 08 de agosto de 2019	Estabelece medidas regulatórias cautelares objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado “a montante” ou por método declarado como desconhecido.
Portaria ANM 70.389/2017	Mineração – Criação do cadastro de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 5/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

5.0 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

5.1 GEOLOGIA REGIONAL

A região de Tapira pertence a Província Ígnea Alto Paranaíba-APIP, que está inserida na margem continental da Faixa Brasília, delimitada a sudoeste pela Bacia do Paraná e a nordeste pelo Cratón São Francisco. Esta Província é constituída por um conjunto de rochas kamafugíticas, kimberlíticas e carbonatíticas que ocorrem como complexos plutônico, diques, pipes, plugs, diatremas, derrames de lavas e depósitos piroclásticos (Brod *et al.* 2004).

A Figura 5.1 apresenta o mapa geológico da Província Ígnea Alto Paranaíba-APIP, exibindo diversas intrusões, em destaque, a de Tapira, em vermelho, e Araxá, Salitre, Serra Negra e Catalão I e II, em azul.

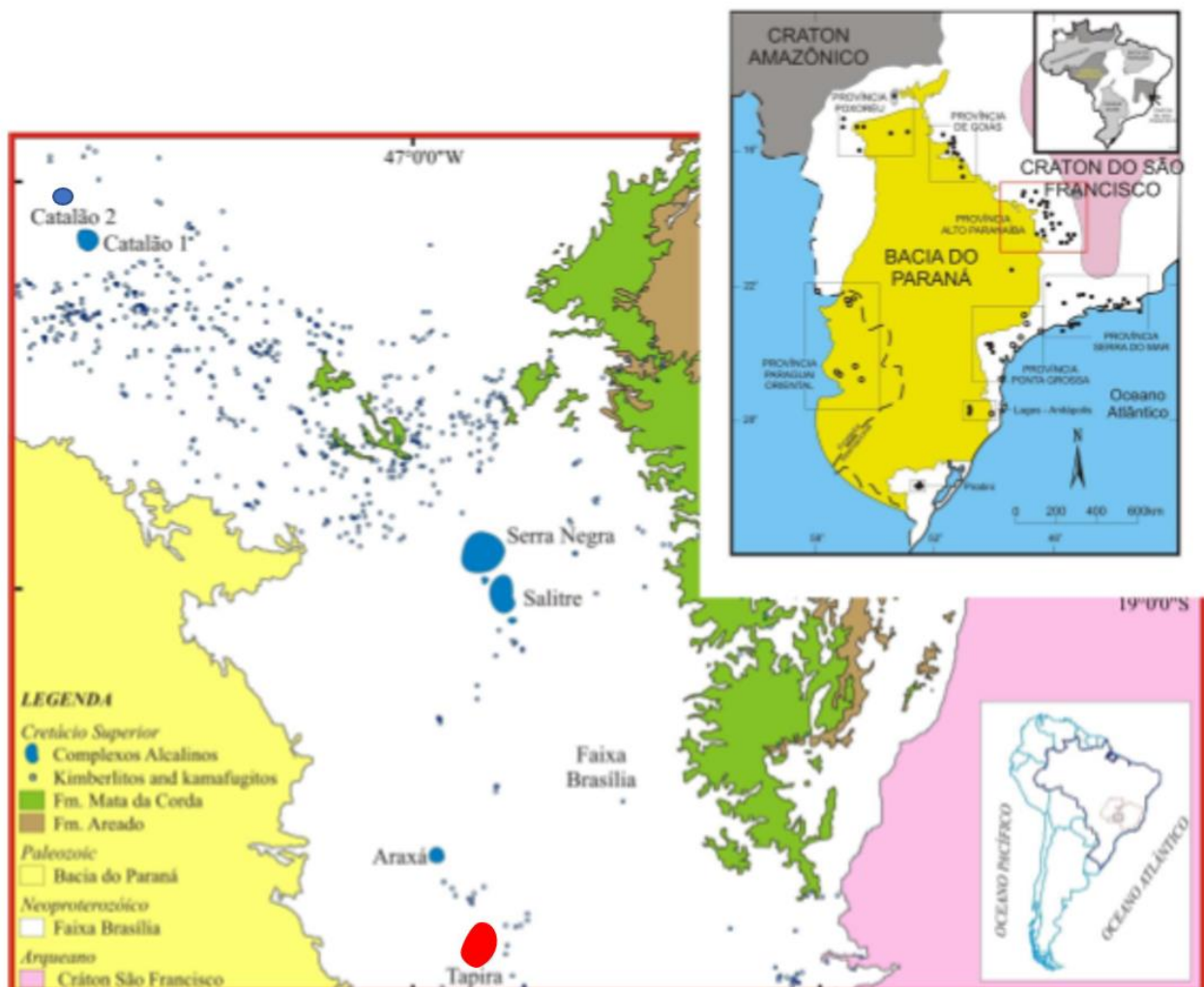


Figura 5.1 - Mapa geológico da Província Ígnea Alto Paranaíba-APIP, exibindo os domos intrusivos alcalinos. Complexo de Tapira, em vermelho, e os demais Complexos da Província em azul (Modificado de Jácomo, 2010).

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 6/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

Os Complexos plutônicos Alcalinos-Carbonatíticos de Tapira, Araxá, Catalão I e II, Serra Negra, Salitre I, II e III, segundo Gibson *et al.* (1995) possuem idade Cretáceo Superior e tem sua origem atribuída à influência do magmatismo oriundo dos impactos de plumas mantélicas na base da litosfera subcontinental. As intrusões desses complexos estabeleceram-se ao longo da feição denominada Arco do Alto Paranaíba e deformaram as rochas metassedimentares da Faixa Brasília, quase sempre gerando estruturas em domos (Brod *et al.*, 2004).

Na Faixa Brasília, orógeno colisional produto da interação entre crátons com evolução tectônica ligada ao Evento Brasileiro, ocorre uma progressiva variação nos padrões estrutural e metamórfico nas unidades litológicas, sendo mais deformadas em direção a Oeste (Valeriano *et al.*, 2004b). Tem sido sugerida, por alguns autores, uma divisão na Faixa em Zona externa e interna devido à evolução da deformação e do grau metamórfico (Dardenne, 2000; Simões e Valeriano, 1990; Fuck, 1994, Valeriano *et al.*, 2004b).

A Zona Externa é composta por unidades metassedimentares dos Grupos Paranoá, Canastra, Ibiá, Vazante e, localmente, o Bambuí e porções do seu embasamento arqueano paleoproterozóico (Dardenne, 2000; Faria 1995; Guimarães 1997, Silva, C. H., 2003). Predominam nesta zona as fácies sedimentares correspondentes à margem passiva, e o metamorfismo é de fácies xisto verde (Silva, C. H. 2003). A Zona Interna é constituída por sucessões metassedimentares e metavulcanossedimentares do Grupo Araxá e Andrelândia incluindo fácies de plataforma distal, rochas metaultramáficas de assoalho oceânico, e o metamorfismo é de fácies xisto verde superior chegando a granulito.

A Figura 5.2 exhibe a estruturação da Faixa Brasília apresentando seu contexto geológico regional.

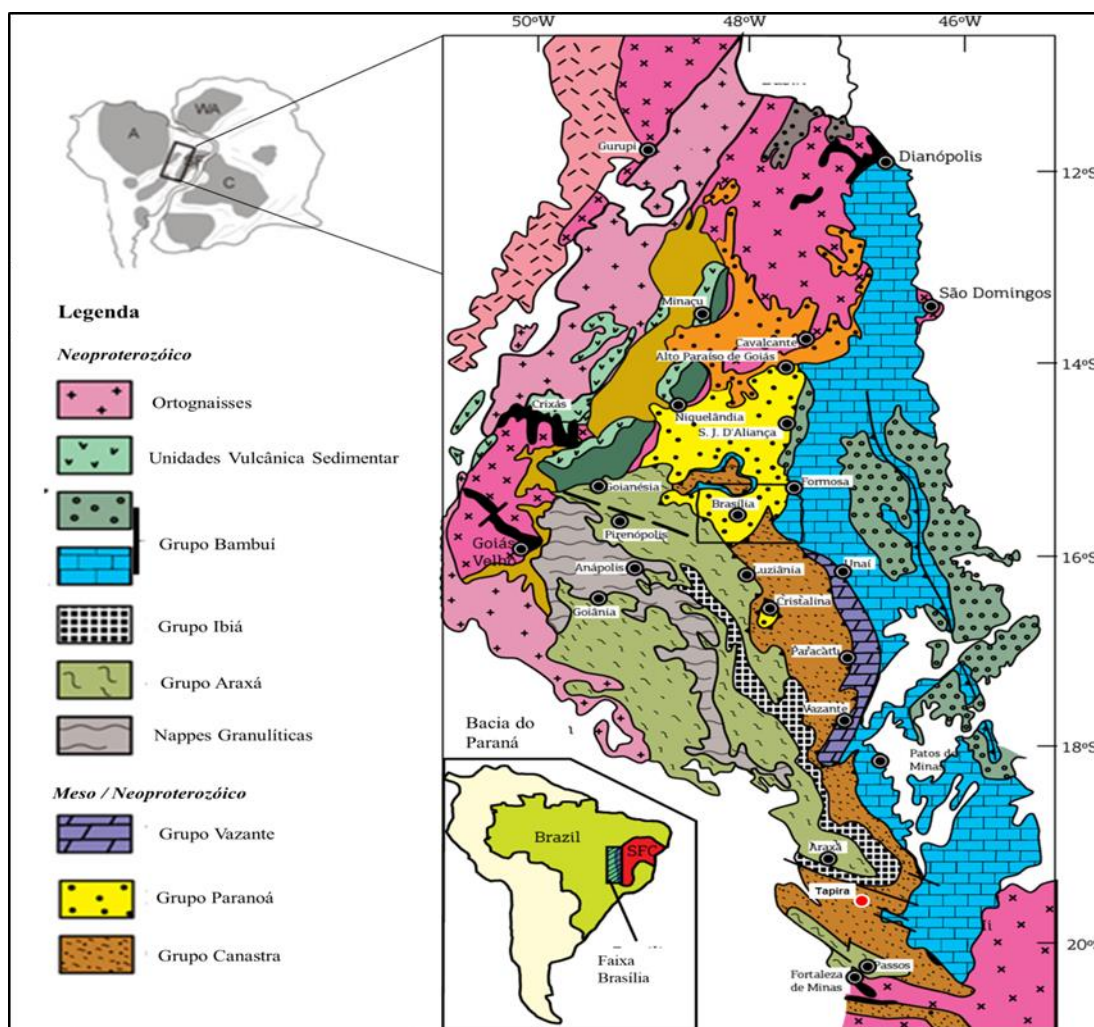


Figura 5.2 - Compartimentação geológica da Faixa Brasília (Modificado de Valeriano et al. 2000).

5.2 GEOLOGIA LOCAL

Tapira é o mais meridional dos complexos carbonatíticos da província, localizado no município de Tapira, estado de Minas Gerais, a sudoeste do Cráton São Francisco e está inserido no contexto geológico da porção sudoeste da Folha Araxá (SE.23Y-C-VI). A região de Tapira encontra-se no sudoeste do estado de Minas Gerais, na porção compreendida entre as serras da Canastra a sul e da Bocaina a norte, inserida no Bioma cerrado.

A Figura 5.3 apresenta o Complexo Minerário de Tapira pertencente à MOSAIC. O Complexo está inserido na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto do Paranaíba, no estado de Minas Gerais. Localizado a aproximadamente 37 km a sudeste da cidade de Araxá, por ligação rodoviária e a uma distância da ordem de 400 km a oeste de Belo Horizonte.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº MOSAIC -	PÁGINA 8/34
		Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A

Mapa de localização do Complexo Minerário de Tapira - Tapira/MG

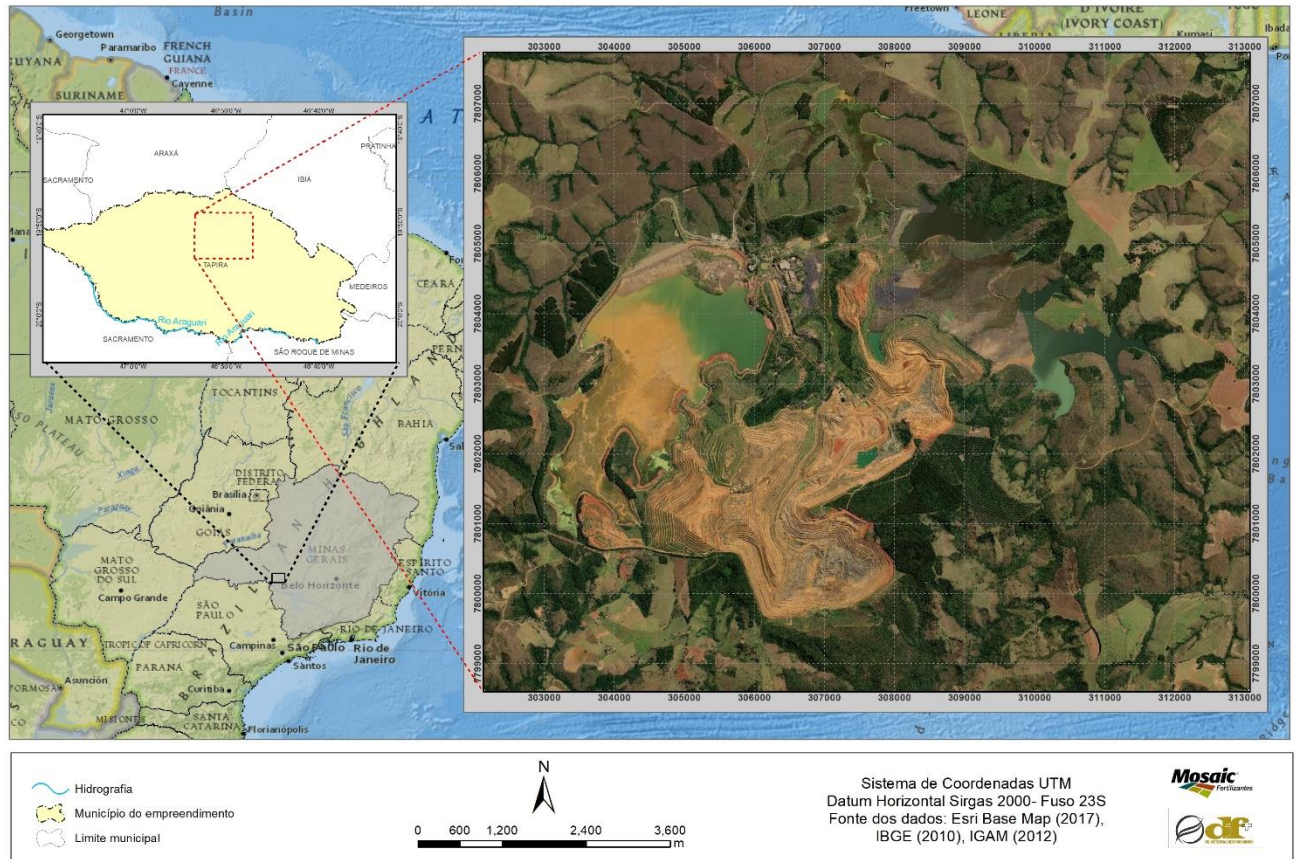


Figura 5.3 – Mapa de localização do Complexo Minerário de Tapira, pertencente ao Município de Tapira-MG.

O Complexo Tapira é uma intrusão multifásica resultado da amalgamação de intrusões de magma ultramáfico, carbonatito e sienito (Brod, 1999). O complexo é dominado por rochas ultramáficas representadas por dunitos, peridotitos, piroxenitos e bebedouritos encaixados, comumente, em quartzitos, filitos e rochas carbonáticas e carbonáceas do Grupo Canastra (Dardenne, 2000).

O Grupo Canastra representa parte de uma bacia de margem passiva aberta no fim do mesoproterozóico com rochas que afloram em uma faixa de mais 650 km, com intensa deformação. De acordo com as grandes zonas de cisalhamento presentes na área Silva (2003) e Silva *et al.* (2004) compartimentaram a área de Tapira em três domínios tectonoestruturais, descritos a seguir.

O Domínio Oeste (DW) é marcado por uma predominância de xistos e quartzitos e rochas metamáficas, metaultramáficas e gnáissicas subordinadamente, recobertas pelas rochas da Bacia do Paraná. Neste domínio ocorrem duas escamas, sendo a escama 1 pertencente ao grupo Canastra e a escama 2 ao grupo Araxá. O limite Leste deste domínio DW é marcado pela ZC Alto Araguari. No Domínio Leste (DE) são identificados xistos, com intercalações de quartzitos, quartzo xistos e rochas metaultramáficas que se sobrepõem, devido à falha de empurrão. No Domínio Leste ocorrem três escamas, a escama inferior e intermediária,

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 9/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

pertencentes ao grupo Canastra; e a escama superior, pertencente ao grupo Araxá. As rochas do DE são separadas do Domínio Sul (DS) pela ZC Canastra. O DS é marcado por uma predominância de rochas metapsamíticas, com feições sedimentares preservadas que definem o alto topográfico marcado pela Serra da Canastra.

Na Figura 5.4 é apresentado o mapa geológico da região de Tapira segundo Silva (2003) compilado de Valeriano *et al.*, (2004a). Discrimina-se as seguintes litologias: Domínio Oeste (DW), Escama 2: (1) Grupo Araxá. Escama1: (2) Grupo Canastra - granada-muscovita xisto com porções grafitosas e com frequentes intercalações de quartzitos micáceos. Domínio Leste (DE), Escama Superior (3) Grupo Araxá - granada-mica xisto com intercalações de granada-quartzo xisto e rochas metaultramáficas; Escama Intermediária (4) Quartzitos com intercalações de quartzo xisto e muscovita xisto; (5) Granada-mica xistos com intercalações granada grafito xistos, granada quartzitos e albita-granada mica xisto; mica xistos e quartzo xistos com intercalações métricas de quartzitos, localmente com lentes métricas de mármore (azul escuro). Escama Inferior (6) quartzitos; (7) quartzo-muscovita xistos/filitos com intercalações de quartzito e níveis feldspáticos; grafito-muscovita xistos/filitos com intercalações de quartzitos micáceos e muscovita-quartzo xistos; quartzo-muscovita xistos/filitos, com lentes e camadas decimétricas a métricas de quartzitos. Grupo Bambuí (8) Filitos e ardósias com lentes métricas de mármore. Domínio Norte, (9) Filitos/xistos sericíticos (10) Quartzitos puros a micáceos. Domínio Sul, (11) Metarenitos com intercalações de quartzo filito, quartzitos micáceos, filitos e metaconglomerados. (12) Quartzo-muscovita xistos, metarenitos bandados.

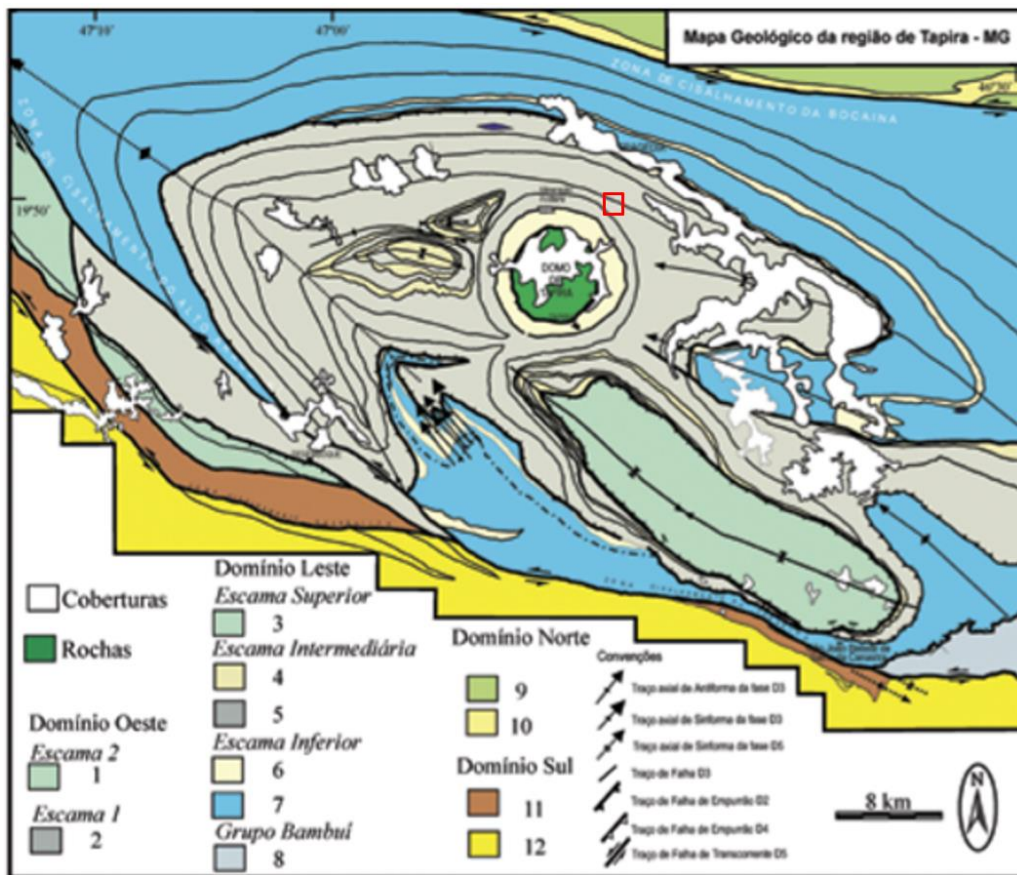


Figura 5.4 - Mapa geológico da região de Tapira com destaque para a região da Barragem BR (modificado de Valeriano et al., 2004a).

A Figura 5.5 mostra a Barragem BR, localizada na cabeceira do córrego Boa Vista e a montante da Barragem BD5, inserida no Complexo Minerário de Tapira.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº MOSAIC -	PÁGINA 11/34
		Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A

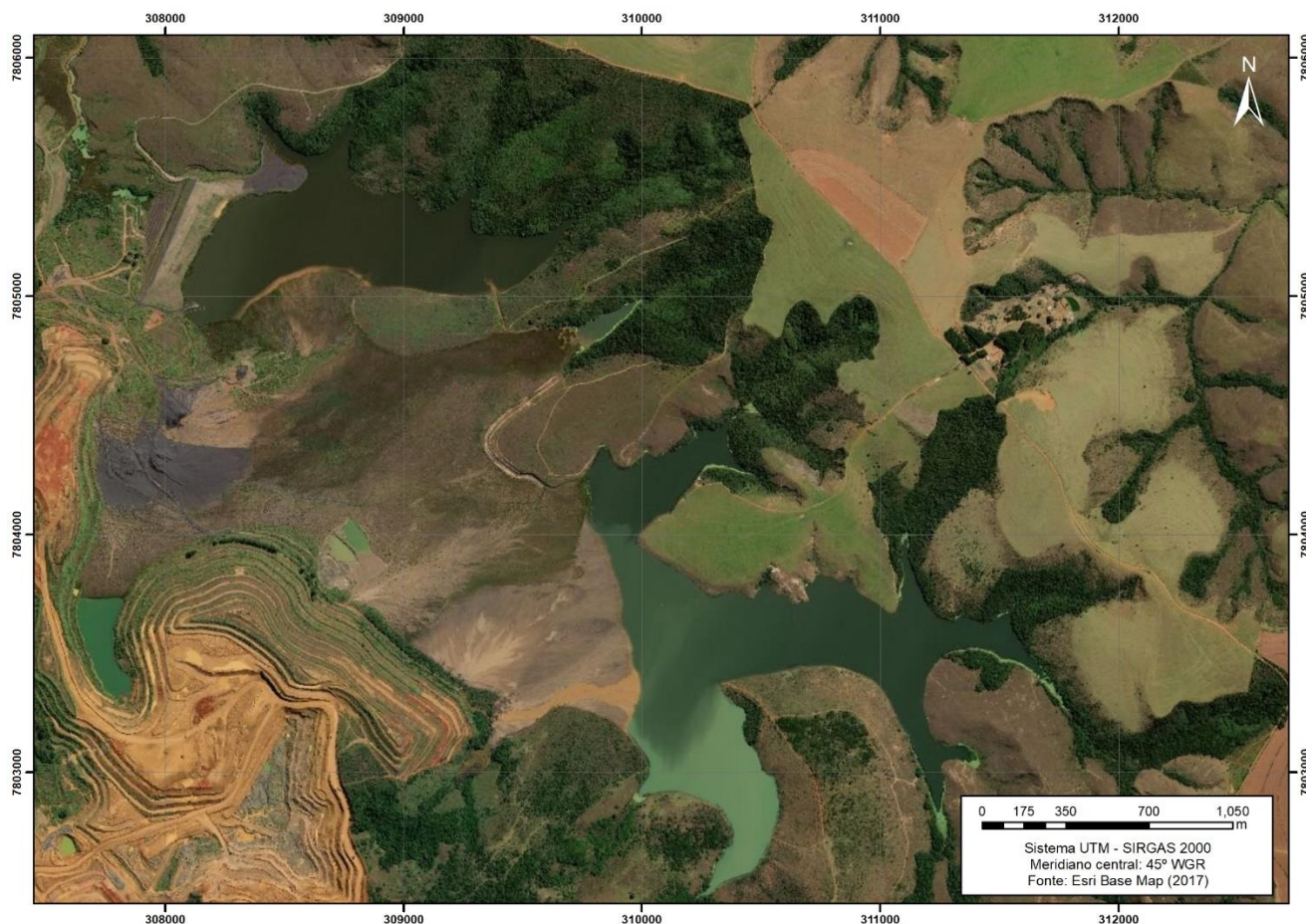


Figura 5.5 - Imagem da Barragem BR (Fonte: Google Earth, 2019).

5.3 INVESTIGAÇÕES E ENSAIOS DE CAMPO

Dentre os dados obtidos pela DF+ para o desenvolvimento de seu projeto estão as investigações realizadas no local da barragem desde a sua implantação. Os primeiros dados são relativos ao ano de 2007, com a execução de 5 sondagens, duas delas para a instalação de medidores de nível d'água e os outras três para a instalação de drenos horizontais profundos (DHPs).

Já em 2014, a Pattrol realizou uma nova campanha, consistindo de 37 sondagens à percussão, 6 ensaios do tipo CPTu com ensaios de dissipação, de infiltração e de densidade "In situ" e escavação de 10 poços para retirada de amostras deformadas.

Desde então novas campanhas foram realizadas em 2017, 2018 e 2019, totalizando 16 sondagens à percussão e 8 ensaios do tipo CPTu nesse período, sendo 7 deles realizados pela Pattrol e 1 pela Damasco Penna.

Em 2019 a Pattrol realizou a perfuração de 10 furos de sondagens para instalação de instrumentos, na região do maciço da Barragem BR, foram instalados 5 indicadores de nível d'água (INA) e 5 piezômetros tipo Casagrande.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº MOSAIC -	PÁGINA 12/34
		Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A

5.3.1 RESULTADOS E CONSOLIDAÇÃO DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

Na Tabela 5.1 apresenta-se a relação dos ensaios de infiltração executados em furos da Barragem BR.

Tabela 5.1 – Resultados dos ensaios de permeabilidade executados na Barragem BR.

Sondagem - Local	Ano	Prof. N.A. (m)	Prof. Ensaio (m)	Horizonte	K (cm/s)
SP 01 – OD	2014	Seco	7,0 a 10,0	Solo Residual Siltoso	$2,33 \times 10^{-5}$
SP 02 – PR	2014	Seco	2,0 a 5,0	Rejeito Areno Siltoso	$0,54 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Rejeito Areno Siltoso / Areia de Magnetita	$2,61 \times 10^{-5}$
SP 03 – PR	2014	Seco	2,0 a 5,0	Rejeito Areno Siltoso	$0,87 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Rejeito Areno Siltoso / Areia de Magnetita	$0,67 \times 10^{-4}$
SP 04 – PR	2014	Seco	2,0 a 5,0	Rejeito Areno Siltoso	$1,60 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Areia de Magnetita	$2,73 \times 10^{-5}$
SP 05 – PR	2014	Seco	2,0 a 5,0	Aterro Areno Siltoso	$1,18 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Aterro Arenoso	$0,88 \times 10^{-4}$
SP 06 – PR	2014	Seco	2,0 a 5,0	Rejeito Areno Siltoso / Areia de Magnetita	$3,58 \times 10^{-5}$
			7,0 a 10,0	Areia de Magnetita / Rejeito Areno Siltoso	$1,13 \times 10^{-4}$
			12,0 a 15,0	Rejeito Areno Siltoso / Areia de Magnetita	$0,62 \times 10^{-4}$
SP 07 – PR	2014	Seco	2,0 a 5,0	Rejeito Areno Siltoso	$0,52 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Areia de Magnetita	$1,91 \times 10^{-5}$
			12,0 a 15,0	Areia de Magnetita	$4,54 \times 10^{-5}$
SP 08 – PR	2014	Seco	2,0 a 5,0	Rejeito Areno Siltoso	$1,64 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Areia de Magnetita	$3,30 \times 10^{-5}$
			12,0 a 15,0	Areia de Magnetita	$4,67 \times 10^{-5}$
SP 09 – PR	2014	Seco	2,0 a 5,0	Rejeito Areno Siltoso / Areia de Magnetita	$1,31 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Aterro Arenoso	$3,27 \times 10^{-5}$
			12,0 a 15,0	Silte Argiloso com Pedregulho	$4,10 \times 10^{-5}$

**PROJETO CONCEITUAL
BARRAGENS
BARRAGEM BR
RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO
RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº MOSAIC

-

PÁGINA

13/34

Nº DF+

DF19-261-1-EG-RTE-0001

REV.

A

Sondagem - Local	Ano	Prof. N.A. (m)	Prof. Ensaio (m)	Horizonte	K (cm/s)
SP 10 – OE	2014	7,80	2,0 a 5,0	Solo Residual Silto Arenoso	$3,10 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Solo Residual Rosa	Zero (Impermeável)
SP 11 – OD	2014	Seco	2,0 a 5,0	Areia de Magnetita	$0,74 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Areia de Magnetita / Solo Residual Siltoso	$2,36 \times 10^{-5}$
SP 13A – C	2014	Seco	2,0 a 5,0	Areia de Magnetita	$0,71 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Areia de Magnetita	$0,56 \times 10^{-4}$
			12,0 a 15,0	Areia de Magnetita	$3,68 \times 10^{-5}$
			17,0 a 20,0	Areia de Magnetita	$2,27 \times 10^{-5}$
SP 15 – OE	2014	Seco	2,0 a 5,0	Solo Coluvionar Argiloso com Cascalho / Solo Residual Areno Siltoso	$3,32 \times 10^{-5}$
			7,0 a 10,0	Solo Residual Areno Siltoso	$4,91 \times 10^{-5}$
SP 18 – M	2014	Seco	2,0 a 5,0	Areia de Magnetita	$0,78 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Areia de Magnetita	$3,17 \times 10^{-5}$
			12,0 a 15,0	Areia de Magnetita	$1,86 \times 10^{-5}$
			17,0 a 20,0	Areia de Magnetita	$2,12 \times 10^{-5}$
SP 20 – OE	2014	Seco	2,0 a 5,0	Solo Residual Areno Siltoso	$1,49 \times 10^{-4}$
SP 21 – OD	2014	Seco	2,0 a 5,0	Solo Residual Siltoso	$0,64 \times 10^{-4}$
SP 22 – M	2014	Seco	2,0 a 5,0	Areia de Magnetita	$0,51 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Areia de Magnetita	$2,66 \times 10^{-5}$
			12,0 a 15,0	Areia de Magnetita	$3,12 \times 10^{-5}$
			17,0 a 20,0	Areia de Magnetita	$2,39 \times 10^{-5}$
SP 23 – OE	2014	Seco	2,0 a 5,0	Solo Coluvionar Siltoso / Solo Residual Siltoso com Mica	$1,84 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Solo Residual Siltoso com Mica	$1,81 \times 10^{-5}$
SP 24 – OE	2014	Seco	2,0 a 5,0	Solo Residual Siltoso com Mica	$2,02 \times 10^{-4}$
			7,0 a 10,0	Solo Residual Siltoso com Mica	$1,86 \times 10^{-5}$

**PROJETO CONCEITUAL
BARRAGENS
BARRAGEM BR
RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO
RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº MOSAIC

-

PÁGINA

14/34

Nº DF+

DF19-261-1-EG-RTE-0001

REV.

A

Sondagem - Local	Ano	Prof. N.A. (m)	Prof. Ensaio (m)	Horizonte	K (cm/s)
SP 25 – P	2014	1,38	2,0 a 5,0	Solo Residual Siltoso	$0,76 \times 10^{-3}$
			7,0 a 10,0	Solo Residual Siltoso	$0,60 \times 10^{-3}$
SP 26 – P	2014	1,62	2,0 a 5,0	Solo Residual Siltoso / Passagem de Cascalho	$4,72 \times 10^{-4}$
SP 30 – SE	2014	Seco	2,0 a 5,0	Solo Residual Silto Argiloso com Pouco Cascalho Fino / Solo Residual Silto Arenoso com Micas	$1,73 \times 10^{-4}$
			5,0 a 7,4	Solo Residual Silto Arenoso com Micas	$1,18 \times 10^{-4}$
SP 31 – SE	2014	Seco	2,0 a 5,0	Solo Residual Silto Arenoso com Mica	$1,25 \times 10^{-4}$
SP 32 – SE	2014	Seco	2,0 a 7,25	Solo Residual Silto Arenoso com Mica	$0,90 \times 10^{-4}$
SP 33 – SE	2014	Seco	2,0 a 5,0	Solo Residual Argilo Arenoso	$1,54 \times 10^{-4}$
SP 34 – SE	2014	Seco	0,0 a 5,0	Solo Residual Silto Arenoso com Mica	$1,64 \times 10^{-4}$
SP-BR-36 – SE	2017	Seco	1,00 a 2,00	Solo Residual Silto Argiloso	$1,80 \times 10^{-4}$
SP-BR-37 – SE	2017	Seco	1,00 a 2,00	Solo Residual Silto Argiloso	$1,90 \times 10^{-4}$
SP-BR-38 – SE	2017	Seco	1,00 a 2,00	Solo Residual Silto Argiloso	$1,60 \times 10^{-4}$
SP-BR-39 – SE	2017	Seco	2,00 a 3,10	Solo Residual Silto Argiloso	$1,18 \times 10^{-4}$
SP-BR-40 – SE	2017	Seco	0,00 a 1,00	Solo Residual Silto Argiloso	$3,28 \times 10^{-4}$
SP-BR-41 – P	2017	3,74	2,00 a 3,00	Colúvio / Aterro Areno Siltoso	$0,70 \times 10^{-4}$
			7,00 a 8,00	Material Arenoso (Filtro?)	$1,44 \times 10^{-4}$
			10,00 a 11,00	Solo Residual Silto Argiloso	$4,27 \times 10^{-5}$
SP-BR-42 – P	2017	Seco	3,00 a 4,00	Solo Residual Silto Argiloso	$0,97 \times 10^{-4}$
SP-BR-43 – P	2017	1,82	3,00 a 4,00	Solo Residual Silto Argiloso	$1,00 \times 10^{-5}$
SP-BR-44 – P	2017	Seco	4,00 a 5,00	Solo Residual Argilo Siltoso	Zero (Impermeável)
			9,00 a 10,00	Solo Residual Silto Argiloso	Zero (Impermeável)
SM-01 – C	2018	Seco	16,50 a 17,50	Magnetita / Silte Argiloso	$1,77 \times 10^{-5}$
			19,00 a 20,00	Argila Siltosa	$1,61 \times 10^{-5}$
SM-03 – M	2018	12,15	13,50 a 14,50	Argila	$2,37 \times 10^{-5}$
			16,00 a 17,00	Argila	$1,52 \times 10^{-5}$

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº MOSAIC -	PÁGINA 15/34
		Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A

Sondagem - Local	Ano	Prof. N.A. (m)	Prof. Ensaio (m)	Horizonte	K (cm/s)
SP-01- N.I.	2019	Seco	2,00 a 3,00	Passagem de Magnetita / Silte-Argiloso	$2,82 \times 10^{-5}$
			5,00 a 6,00	Silte-Argiloso / Silte-Arenoso	$0,83 \times 10^{-5}$

Legenda: PR – Praia; C – Crista; OE – Ombreira Esquerda; OD – Ombreira Direita; M – Maciço; P – Pé; SE – Sistema Extravasor; N.I. – Não Informado.

No total foram realizados 72 ensaios de permeabilidade, sendo 31 deles em solo residual, 25 em areia de magnetita e 11 em rejeito. Os resultados obtidos foram uniformizados até potência de 5, ou seja, se o dado fornecido pela Pattrol for $8,27 \times 10^{-6}$ cm/s, ele foi alterado para $0,83 \times 10^{-5}$ cm/s.

Considerando-se apenas os dados finais de permeabilidade, independente do horizonte ensaiado, os resultados mostram a seguinte distribuição:

- 10^{-3} : 2 ensaios;
- 10^{-4} : 36 ensaios;
- 10^{-5} : 31 ensaios;
- Impermeável: 3 ensaios.

A Tabela 5.2 apresenta as permeabilidades mínimas, máximas e médias em relação aos horizontes ensaiados.

Tabela 5.2 – Permeabilidades mínimas, máximas e médias dos materiais da Barragem BR.

Horizonte	Mínimo	Máximo	Média
Solo Residual	Impermeável	$7,60 \times 10^{-4}$	$1,57 \times 10^{-4}$
Solo Coluvionar	$3,32 \times 10^{-5}$	$1,84 \times 10^{-4}$	$2,87 \times 10^{-4}$
Areia de Magnetita	$1,86 \times 10^{-5}$	$1,31 \times 10^{-4}$	$4,69 \times 10^{-5}$
Aterro	$3,27 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-4}$	$7,72 \times 10^{-5}$
Rejeito	$2,61 \times 10^{-5}$	$1,64 \times 10^{-4}$	$8,65 \times 10^{-5}$

5.3.2 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL A LIQUEFAÇÃO

Foram analisados os ensaios do tipo CPTu, da Pattrol, para verificar-se a susceptibilidade do rejeito da Barragem BR à liquefação. Utilizou-se de três metodologias diferentes para realizar-se tal verificação, de Olson e Stark (2003), Jefferies e Been (2016) e Robertson (2016).

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 16/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

Diante dos resultados apresentados na Figura 5.6 até a Figura 5.13, é possível observar que os ensaios realizados no rejeito, em sua grande maioria, apresentam comportamento contráctil, sendo estes classificados como solos susceptíveis à liquefação. Para os ensaios locados sobre a magnetita foi possível observar um comportamento semelhante ao anterior, porém, é verificado a existência de várias camadas junto ao maciço que também apresentam comportamento dilatante. Todavia, é possível identificar pequenas regiões dispersas ao longo da seção com valores que sugerem a presença de certa compactação no material do maciço. Porém, devido a necessidade de extrapolação para discretização e da falta de representatividade dos furos perante o maciço, optou-se por considerar todo o maciço susceptível à liquefação.

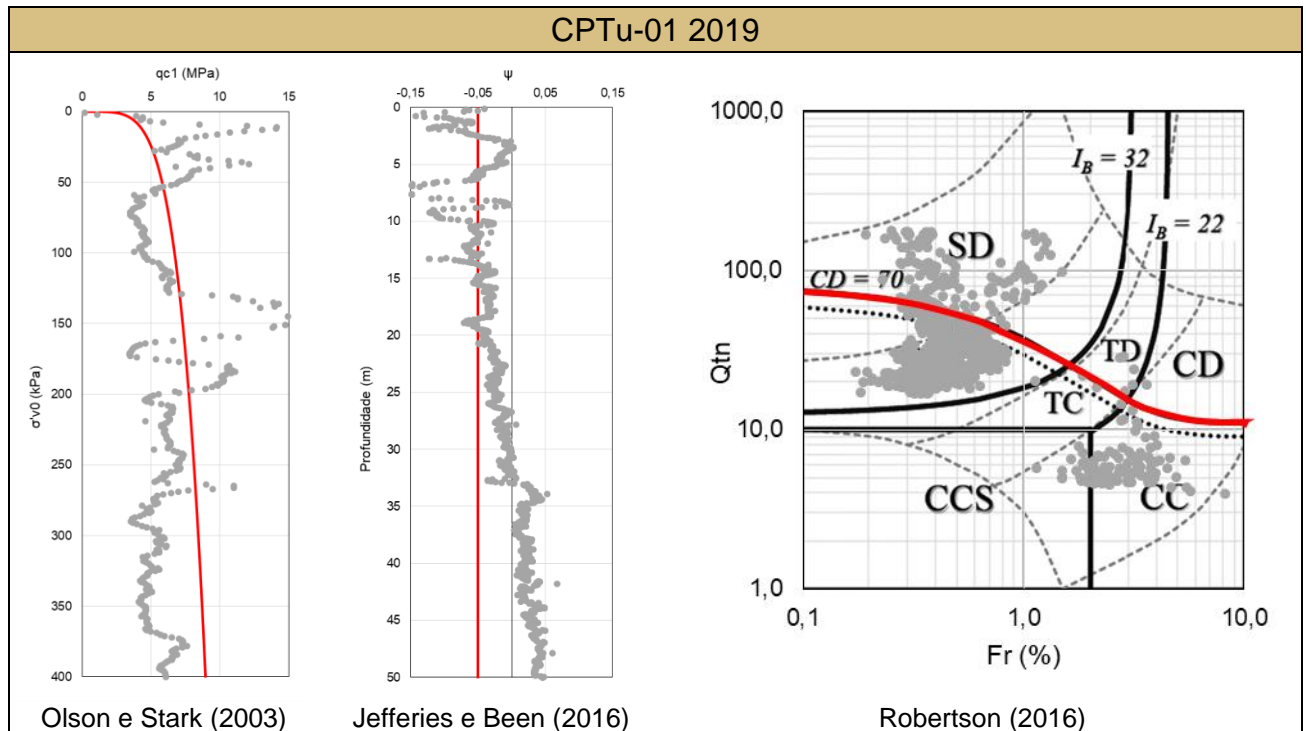


Figura 5.6 – Susceptibilidade à liquefação para os ensaios de CPTu 01 2019.

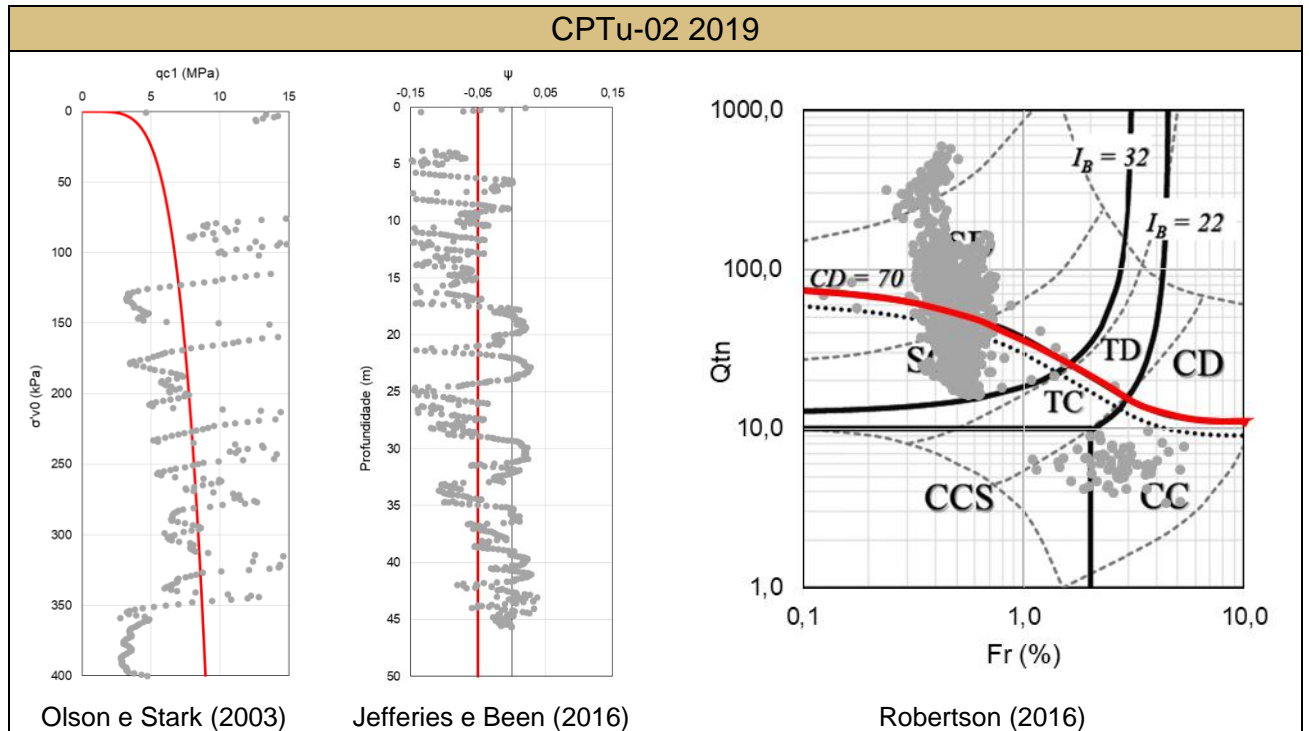


Figura 5.7 – Susceptibilidade à liquefação para os ensaios de CPTu 02 2019.

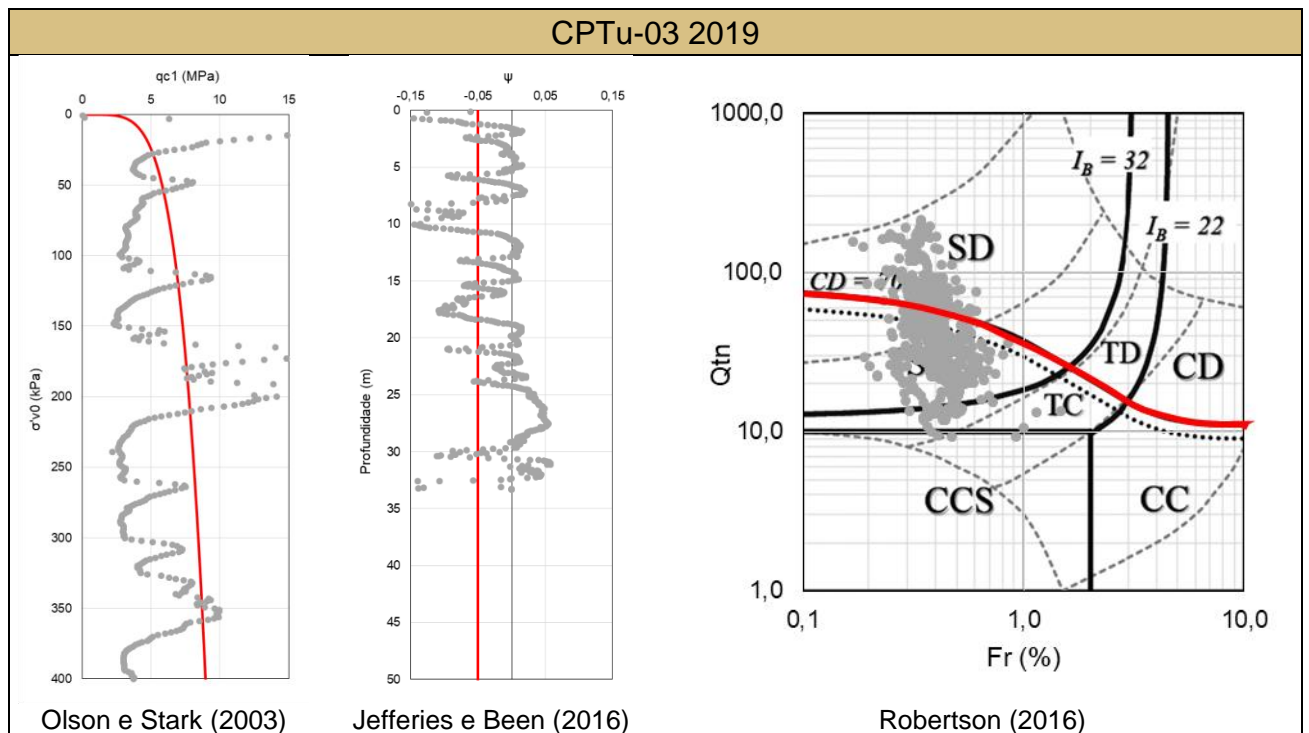


Figura 5.8 – Susceptibilidade à liquefação para os ensaios de CPTu 03 2019.

CPTu-03 DP.2019

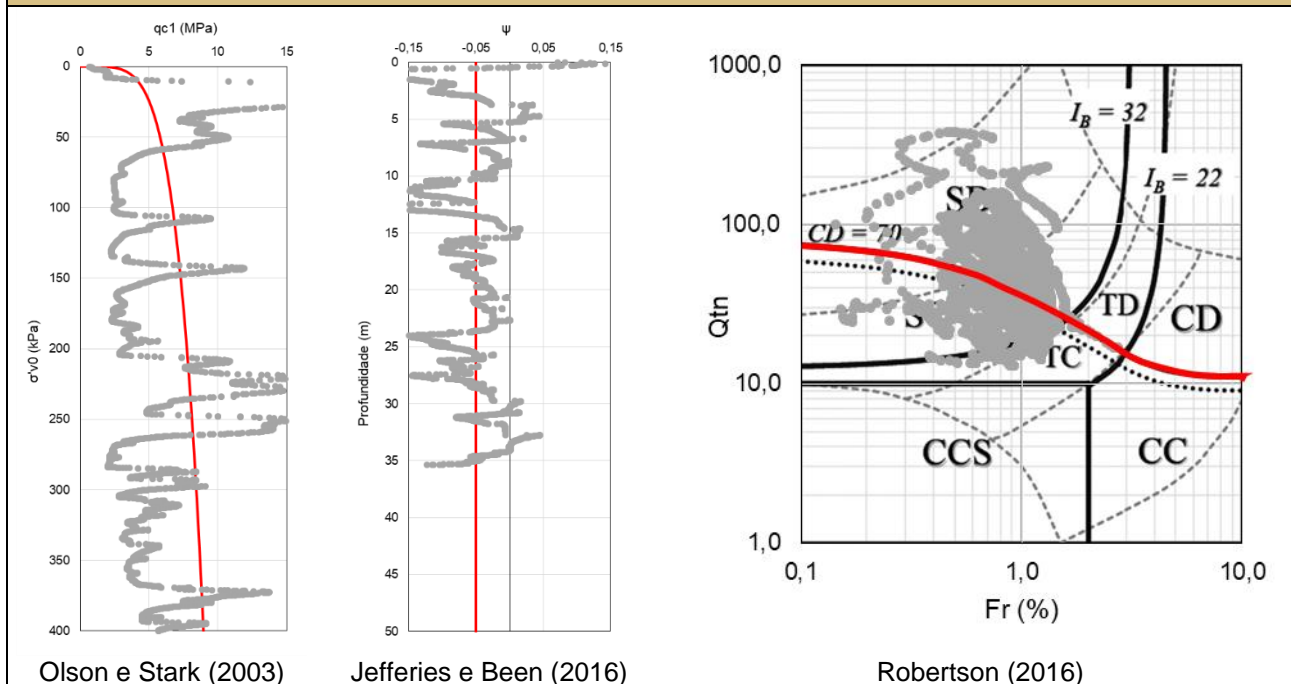


Figura 5.9 – Susceptibilidade à liquefação para os ensaios de CPTu 03 DP 2019.

CPTu-04 2019

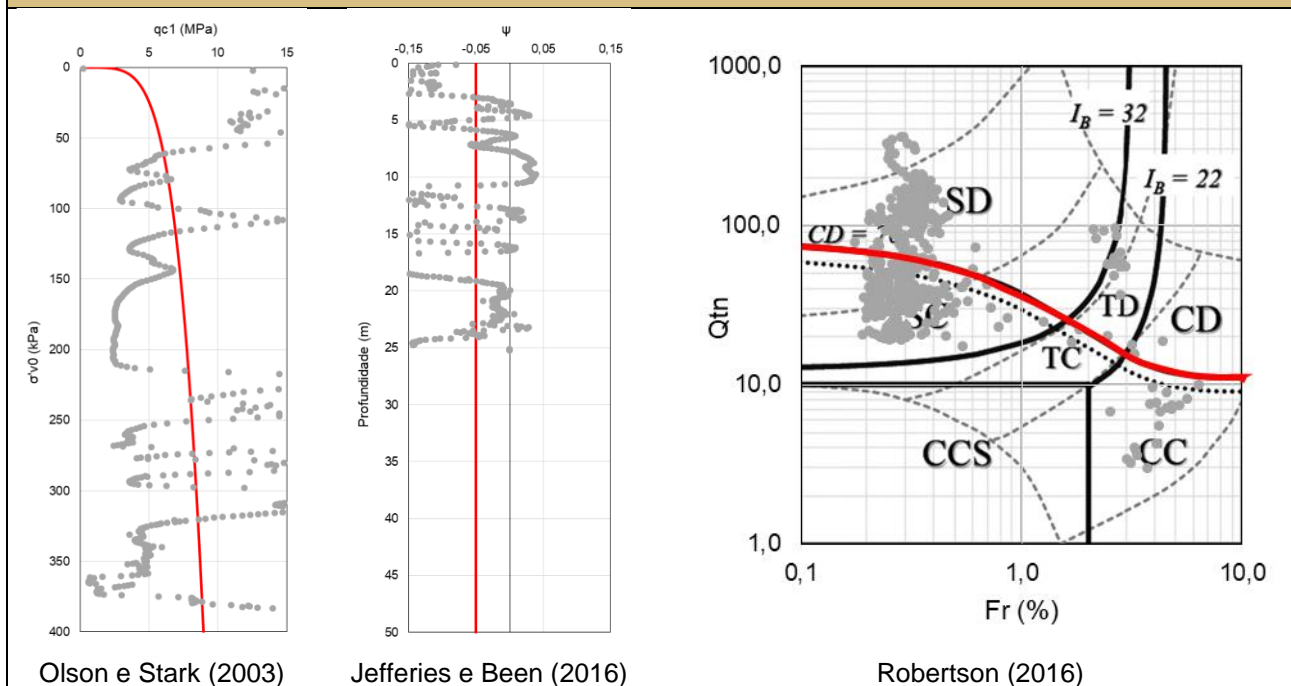


Figura 5.10 – Susceptibilidade à liquefação para os ensaios de CPTu 04 2019.

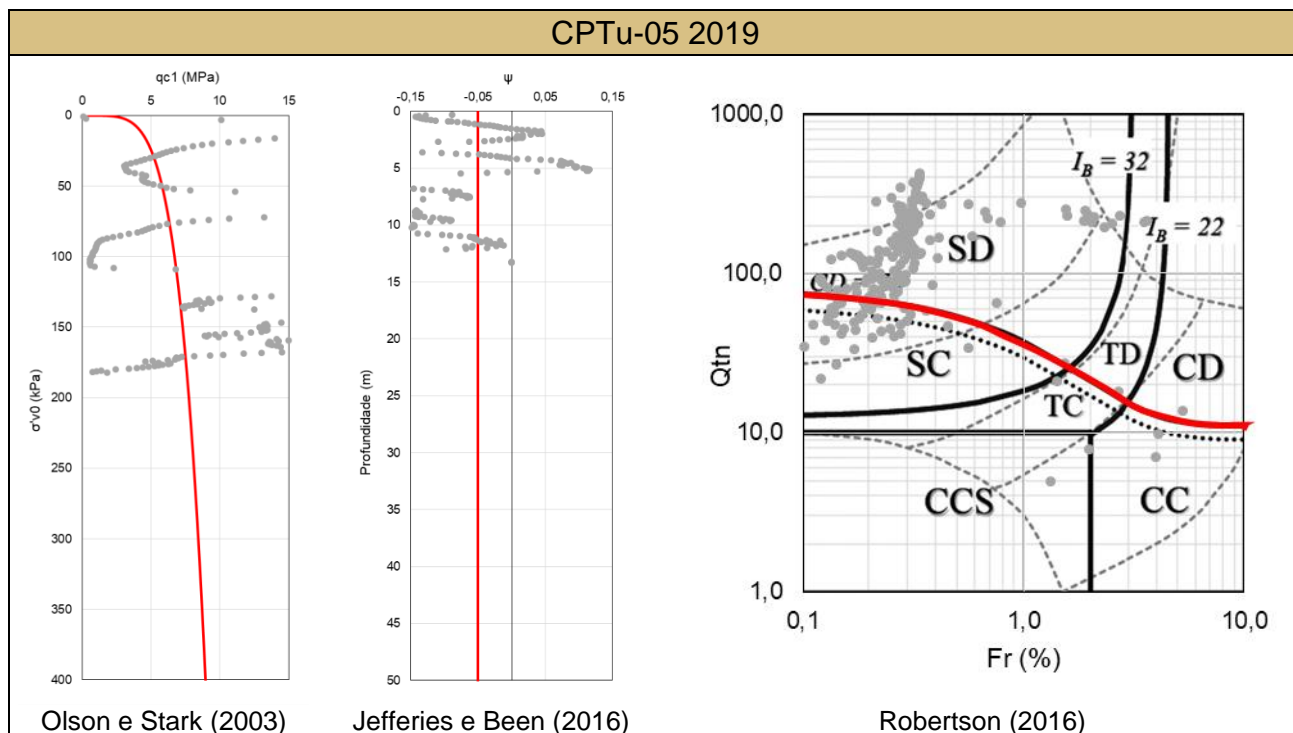


Figura 5.11 – Susceptibilidade à liquefação para os ensaios de CPTu 05 2019.

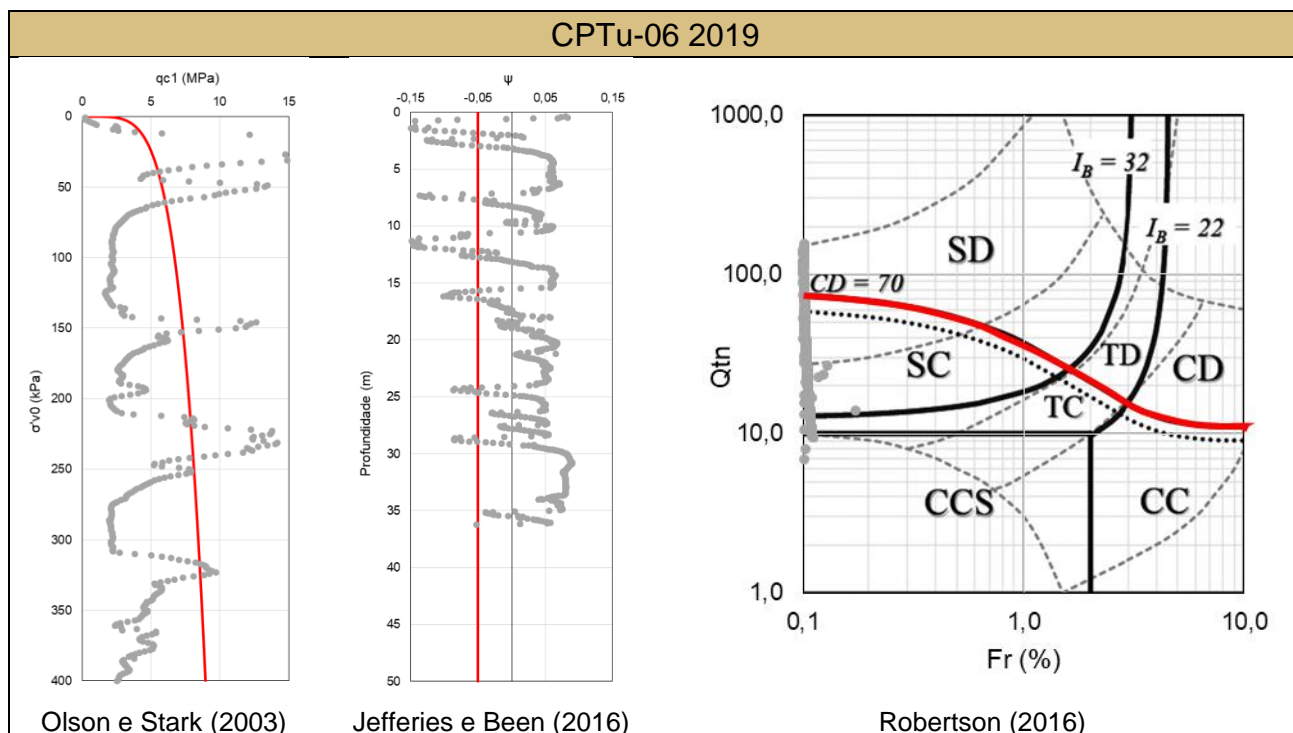


Figura 5.12 – Susceptibilidade à liquefação para os ensaios de CPTu 06 2019.

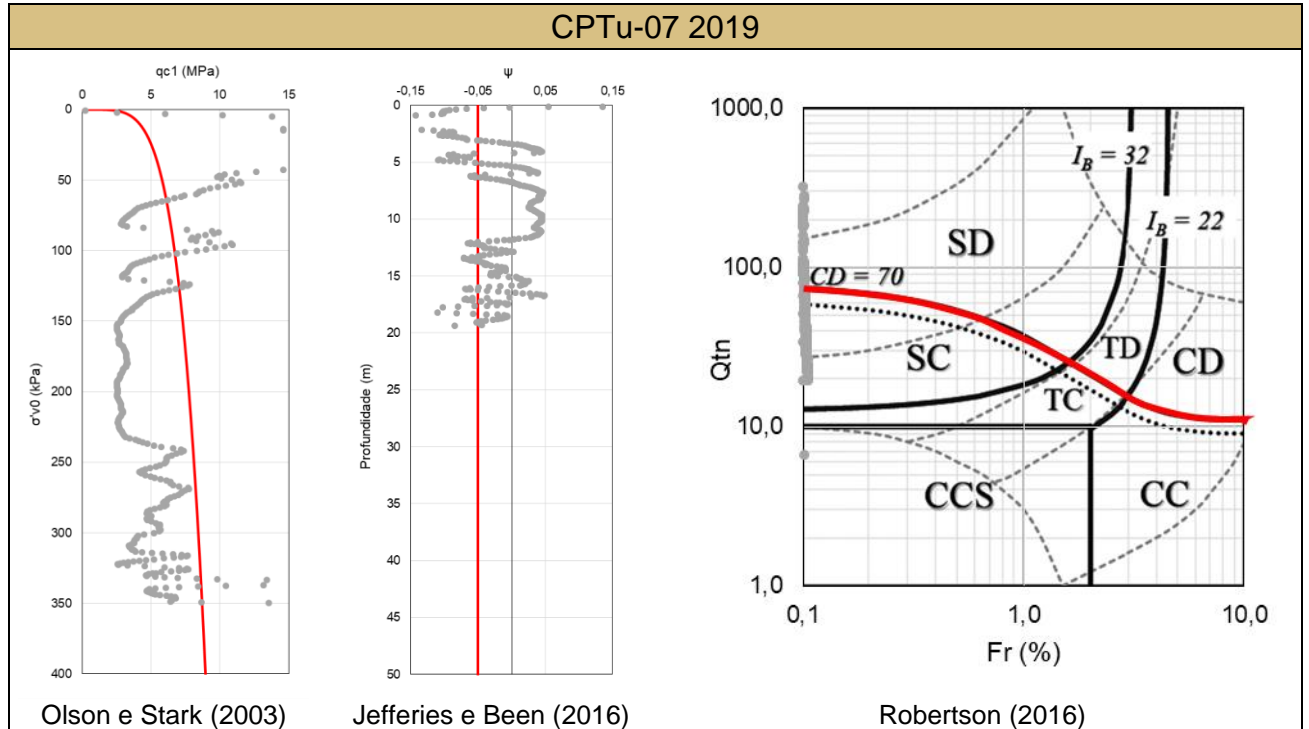


Figura 5.13 – Susceptibilidade à liquefação para os ensaios de CPTu 07 2019.

Em relação ao ensaio CPTu da Damasco Penna, percebe-se o mesmo padrão de materiais que possuem regiões com comportamento contráctil e outras com comportamento dilatante.

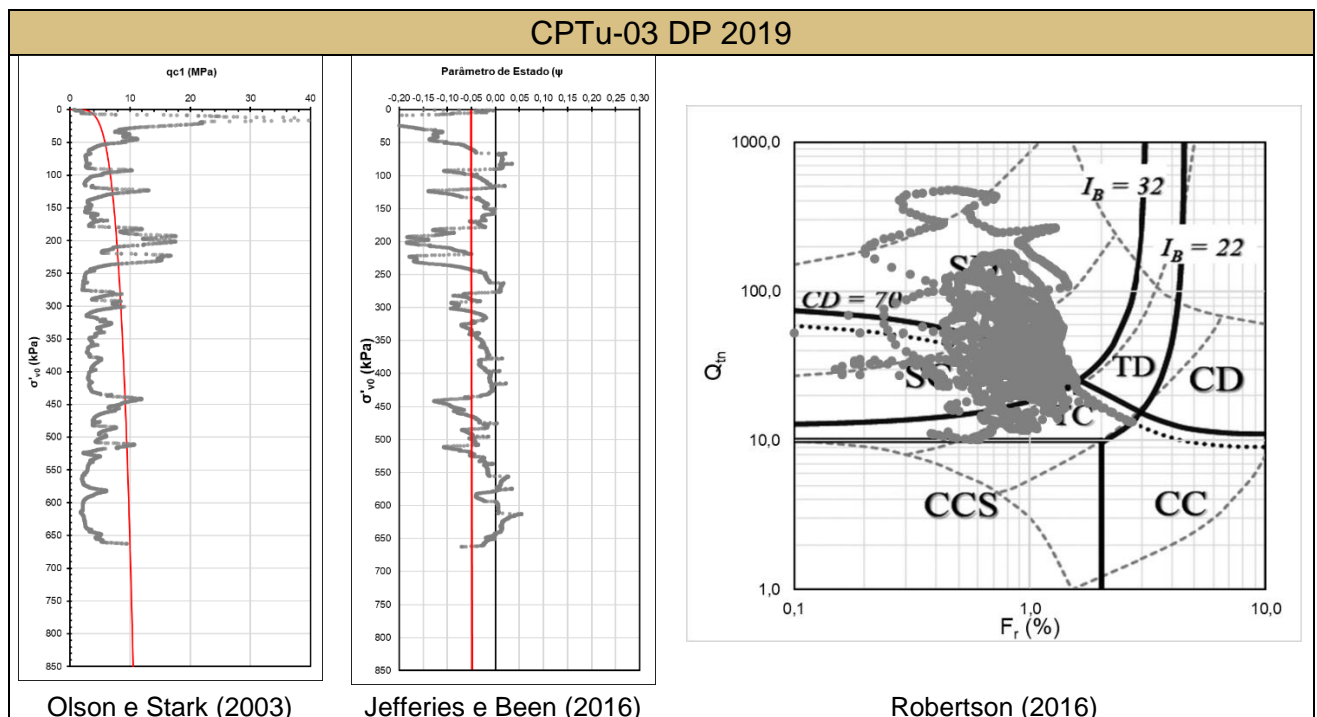


Figura 5.14 – Susceptibilidade à liquefação para os ensaios de CPTu 03 DP 2019.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 21/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

5.3.3 INVESTIGAÇÃO PARA INSTALAÇÃO DE NOVOS INSTRUMENTOS

Na Tabela 5.3 apresenta-se as informações dos instrumentos instalados na campanha de 2019 da Pattrol, instrumentos de INA e PZ localizados na Barragem BR.

Tabela 5.3 – Apresentação dos dados das sondagens de instalação de instrumentos, campanha Pattrol 2019.

Sondagem - Local	Prof. furo (m)	Prof. N.A. (m)	Prof. Instrumento (m)	Horizonte	Cota de furo
SP-INA-101	28,27	25,45	28,00	0,00 a 28,00 Rejeito de Magnetita. 28,00 a 28,27 Solo Residual variegado.	1.176,05
SP-INA-102	21,45	15,57	21,25	0,00 a 21,00 Rejeito de Magnetita. 21,00 a 21,45 Solo Residual variegado.	1.170,33
SP-INA-103	45,26	35,51	44,80	0,00 a 45,00 Rejeito de Magnetita. 45,00 a 45,26 Solo Residual variegado.	1.188,84
SP-INA-104	24,45	14,67	24,00	0,00 a 24,00 Rejeito de Magnetita. 24,00 a 24,45 Solo Residual variegado.	1.160,00
SP-INA-105	18,45	13,94	18,00	0,00 a 18,00 Rejeito de Magnetita. 18,00 a 18,45 Solo Residual variegado.	1.159,92
SP-PZ-101	31,11	24,76	31,00	0,00 a 26,00 Rejeito de Magnetita. 26,00 a 31,11 Solo Residual variegado.	1.177,16
SP-PZ-106	27,06	15,81	26,90	0,00 a 22,00 Rejeito de Magnetita. 22,00 a 27,06 Solo Residual variegado.	1.170,55
SP-PZ-107	29,07	15,58	29,00	0,00 a 24,00 Rejeito de Magnetita. 24,00 a 29,07 Solo Residual variegado.	1.160,07
SP-PZ-108	23,12	13,67	23,00	0,00 a 18,00 Rejeito de Magnetita. 18,00 a 23,12 Solo Residual variegado.	1.159,88
SR-PZ-109	47,30	35,71	47,00	0,00 a 42,00 Rejeito de Magnetita. 42,00 a 47,30 Solo Residual variegado.	1.188,84

5.3.4 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS OBSERVADOS NAS INVESTIGAÇÕES

De acordo com as sondagens realizadas, os horizontes de solo e rejeito possuem valores de índice de resistência a penetração (N_{spt}) na Barragem BR estipulados em:

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 22/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

- Crista da Barragem BR - Segundo relatório "Projeto Como Construído - BR – 200914" a construção da Barragem BR indica magnetita na região da crista, apresentado nas sondagens realizadas pela Pattrol de 2014 a 2018 a ocorrência de areia de magnetita com compacidade entre média a compacta. Abaixo das camadas de magnetita, ocorre o solo residual argiloso, coloração variegada, com índice de resistência a penetração variando de 10 a 40 golpes.
- Maciço da Barragem BR – Segundo o relatório nº 000-511-008_Rev_0 referente ao projeto inicial da estrutura de 1983 da empresa Paulo Abib Engenharia, o maciço da Barragem BR apresenta em sua base um dique inicial composto por solo argiloso compactado e previsto alteamentos posteriores constituídos com magnetita. As sondagens realizadas pela Pattrol na região do maciço nas campanhas de 2014 a 2018 indicam camadas de areia de magnetita, com índice de penetração entre 4 a 35, sobrepostas a camada de argila, cor amarela, com resistência entre 28 a 34. Os solos residuais encontrados nas sondagens são silte-arenoso, coloração variegada, com Nspt em torno do impenetrável (≥30 golpes/30cm).
- Praia – Na região da praia, apresentado nas sondagens da Pattrol, ocorre a presença de rejeitos de flotação. Textura areno-siltosa, cor cinza escuro, com índice de resistência a penetração entre 5 a 21. Sotoposta as camadas, mais superficiais, de rejeito de flotação ocorre camadas com Nspt mais altos, entre 19 a 42, descritas como areia fina a média de magnetita. Os solos residuais que ocorrem na fundação da região da praia, apresentam textura silto-argiloso com pedregulhos, cor variegada (marrom esverdeado ou marrom avermelhado) com Nspt 5 a 16.
- Ombreira Esquerda - Segundo o projeto inicial da estrutura, elaborado pela empresa Paulo Abib Engenharia em outubro de 1983, na região da ombreira esquerda do maciço inicial ocorre cobertura superficial de camada de argila coluvionar e abaixo da camada de colúvio ocorre a presença de solo residual de filito. As sondagens na ombreira esquerda apresentaram uma camada superficial, pouco espessa até 0,50cm, de areia de magnetita. Sotoposta a camada de magnetita ocorre camadas de colúvio com Nspt entre 2 a 7. O solo residual apresenta textura siltosa com micas, silto-arenosa e areno-siltosa com colorações variadas (rosa, cinza e amarelado), os índices de penetração dessas camadas chegam ao impenetrável. Na sondagem SP-20 ocorre uma camada de 1,75m de argila avermelhada mole (Nspt 3).
- Ombreira Direita - No relatório de Revisão Periódica de 2017, nº VG17-092-1-EG-RTE-0070_1_BR_Revisão Periódica, encontra-se informação sobre mapeamento geológico realizado em 1997 pela empresa Geoconsultoria que apresenta à ocorrência na ombreira direita de solo residual de filito, bem estruturado, com intercalação de quartzo nas porções mais elevadas e nas porções mais baixas o material é encoberto por camada de colúvio de argila-siltosa com pedregulhos de quartzo. As sondagens analisadas neste relatório mostram camadas superficiais de areia de magnetita, cor escura com índice de resistência entre 7 a 33. O solo residual encontrado é de textura siltosa, cor variegada (cinza escuro, cinza esverdeado e esverdeado) ocorrendo, por vezes, a presença de veias amareladas. O Nspt para os solos residuais da ombreira direita é entre 10 ao impenetrável.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 23/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

- Pé da Barragem BR - O material predominantemente é siltoso, de coloração variegada (esverdeada, cinza esverdeada) com Nspt variando de 13 ao impenetrável. Ocorre a textura silte-argilosa com estrutura de foliação reliquiar, nos solos residuais, com Nspt de 5 ao impenetrável. Sobreposta as camadas de solo residual ocorre colúvio com índice de penetração de 3 a 5.
- Sistema extravasor - O projeto inicial da estrutura (000-511-008_Rev_0), elaborado pelo Paulo Abib Engenharia em outubro de 1983, menciona a ocorrência de veios de material compressível em meio ao filito, principalmente na região da fundação do extravasor. Os materiais das sondagens executadas no sistema indicam camadas silto-argilosa, argila-arenosa e silto-arenosa apresentando micás com índice de resistência a penetração entre 8 ao impenetrável. Por vezes, ocorre lentes amareladas ou esbranquiçadas, bem como ocorre estruturas de foliação reliquiar.

5.4 DADOS DE HIDROGEOLOGIA

Foram analisados os dados das 37 sondagens realizadas de 2004 a 2018, em 31 delas o nível de água não foi encontrado. As sondagens foram realizadas nas ombreiras (direita e esquerda), na crista, maciço, praia, sistema extravasor e pé da Barragem BR.

Nas três sondagens executadas na ombreira direita a de maior profundidade perfurada é 10,34 m e apresentou nível d'água seco com cota inicial de perfuração em 1169,084 m. Na ombreira esquerda quatro das cinco sondagens apresentaram-se secas, enquanto o furo SP-10, de cota de início de perfuração em 1201,67 m, apresentou nível d'água 7,80 m abaixo da cota inicial.

Nos ensaios da praia os 8 (oito) realizados encontraram-se secos. O mesmo padrão ocorreu nos 2 (dois) ensaios da crista e nos 10 (dez) ensaios do sistema extravasor. No maciço, em apenas 1 (um) ensaio foi encontrado o nível d'água, a 12,15 m da cota de perfuração inicial.

No pé da barragem, 5 (cinco) dos 7 (sete) ensaios de sondagem atingiram o nível d'água, todos relacionados as camadas de solo residual.

Segundo o relatório de Projeto Básico da Paulo Abib 1983, a área das barragens de Tapira sofre influência de córregos intermitentes que seguem a direção dos filitos e quartzitos que as barragens sobrepõem. A Barragem BR está localizada na cabeceira do córrego Boa Vista, o relatório da Walm, nº WBH122-17-MOSC054-RTE-0013, apresenta o nível d'água máximo operacional em 1193,00 m, e o nível maximorum em 1195,30 m.

Na Tabela 5.4 é apresentado as informações de cota de nível d'água encontradas nas sondagens das campanhas de 2014 a 2018.

Tabela 5.4 – Resultado de nível d'água das sondagens na Barragem BR, campanhas de investigação de 2014 a 2018.

Sondagem - Local	Ano	Prof. Perfurada (m)	Cota Furo Boca (m)	Cota N.A (m)	Horizonte
SP 01 – OD	2014	10,12	1195,644	N.E.	N.E.
SP 11 – OD	2014	10,34	1193,965	N.E.	N.E.
SP 21 – OD	2014	6,13	1169,084	N.E.	N.E.
SP 10 – OE	2014	10,45	1201,665	1193,915	S.R. Silto Arenoso
SP 15 – OE	2014	10,41	1202,435	N.E.	N.E.
SP 20 – OE	2014	10,30	1187,408	N.E.	N.E.
SP 23 – OE	2014	10,42	1173,007	N.E.	N.E.
SP 24 – OE	2014	10,45	1164,693	N.E.	N.E.
SP 02 – PR	2014	10,45	1197,750	N.E.	N.E.
SP 03 – PR	2014	10,45	1198,120	N.E.	N.E.
SP 04 – PR	2014	10,45	1196,930	N.E.	N.E.
SP 05 – PR	2014	10,45	1197,630	N.E.	N.E.
SP 06 – PR	2014	15,45	1197,280	N.E.	N.E.
SP 07 – PR	2014	15,45	1197,630	N.E.	N.E.
SP 08 – PR	2014	15,45	1198,880	N.E.	N.E.
SP 09 – PR	2014	15,45	1199,660	N.E.	N.E.
SP 13A – C	2014	20,45	1200,131	N.E.	N.E.
SM-01 – C	2018	20,22	1200,080	N.E.	N.E.
SP 18 – M	2014	20,45	1175,287	N.E.	N.E.
SP 22 – M	2014	20,45	1164,704	N.E.	N.E.
SM-03 – M	2018	17,45	1180,250	1168,10	S.R. Argiloso, Amarelo
SP 25 – P	2014	10,33	1148,695	1147,315	S.R. Siltoso, Cinza Esverdeado
SP 26 – P	2014	4,40	1146,948	1145,328	S.R. Siltoso, Cinza Esverdeado
SP-BR-41 – P	2017	11,25	1145,005	1141,265	Col. Arenoso de Cor Preta
SP-BR-42 – P	2017	4,10	1158,915	N.E.	N.E.

Sondagem - Local	Ano	Prof. Perfurada (m)	Cota Furo Boca (m)	Cota N.A (m)	Horizonte
SP-BR-43 – P	2017	4,15	1146,778	1144,958	S.R. Silto Argiloso de Cor Ocre
SP-BR-44 – P	2017	10,12	1146,778	N.E.	N.E.
SP 30 – SE	2014	7,4	N.F.	N.E.	N.E.
SP 31 – SE	2014	5,4	N.F.	N.E.	N.E.
SP 32 – SE	2014	7,25	N.F.	N.E.	N.E.
SP 33 – SE	2014	5,4	N.F.	N.E.	N.E.
SP 34 – SE	2014	4,39	N.F.	N.E.	N.E.
SP-BR-36 – SE	2017	2,25	1209,620	N.E.	N.E.
SP-BR-37 – SE	2017	2,24	1211,477	N.E.	N.E.
SP-BR-38 – SE	2017	2,10	1211,057	N.E.	N.E.
SP-BR-39 – SE	2017	3,10	1206,406	N.E.	N.E.
SP-BR-40 – SE	2017	1,15	1148,00	N.E.	N.E.

Legenda: N.E. - Não encontrado; N.F. - Não informado; S.R. - Solo Residual; Col. - Colúvio.

Nas sondagens feitas em 2019 pela Pattrol, para instalação de instrumentos, na região do maciço ocorre nível de água nas profundidades do material de areia de magnetita. Nas ombreiras da barragem existem instrumentos, com instalação pretérita, que mostram leitura de nível d'água.

Na Tabela 5.5 apresenta-se leituras atuais dos instrumentos localizados no maciço e nas ombreiras da Barragem BR.

Tabela 5.5 – Leitura dos instrumentos instalados na Barragem BR.

Sondagem - Local	Data da Leitura	Prof. N.A. (m)	Cota N.A (m)
INA-1	08/11/19	Seco	-
INA-2	08/11/19	Seco	-
INA-3 (kPa)	08/11/19	0,00	1147,60
INA-4 (kPa)	08/11/19	21,20	1145,62
INA-5	08/11/19	43,36	1158,27
INA-6 (kPa)	08/11/19	4,00	1146,30
INA-7 (kPa)	08/11/19	19,60	1145,41
INA-8	08/11/19	Seco	-
INA-9	08/11/19	19,30	1181,75
SP-INA-101	08/11/19	28,08	1149,18
SP-INA-102	08/11/19	18,09	1152,24
SP-INA-103	08/11/19	36,89	1153,11

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº MOSAIC -	PÁGINA 26/34
		Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A

Sondagem - Local	Data da Leitura	Prof. N.A. (m)	Cota N.A (m)
SP-INA-104	08/11/19	16,40	1144,76
SP-INA-105	08/11/19	16,26	1144,81
INA-OD-1	08/11/19	16,11	1170,99
INA-OD-2	08/11/19	8,94	1168,98
INA-OD-3	08/11/19	10,28	1161,61
INA-OE-1	08/11/19	12,46	1151,42
INA-OE-2 ⁽¹⁾	-	-	-
PZ-1 ⁽²⁾	-	-	-
SP-PZ-101	08/11/19	26,86	1148,81
PZ-102 (kPa)	08/11/19	165,30	1148,94
PZ-103 (kPa)	08/11/19	112,20	1146,24
PZ-104 (kPa)	08/11/19	89,90	1144,19
PZ-105 (kPa)	08/11/19	103,00	1147,36
SP-PZ-106	08/11/19	17,20	1153,32
SP-PZ-107	08/11/19	16,40	1144,75
SP-PZ-108	08/11/19	15,80	1145,21
SR-PZ-109	08/11/19	37,12	1152,91

Legenda: ⁽¹⁾ Instrumento danificado; ⁽²⁾ Instrumento desativado.

5.5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Para uma melhor caracterização dos materiais utilizados na barragem, são necessárias algumas informações obtidas através de ensaios de caracterização completa. Porém, não foram disponibilizados dados dos ensaios realizados com as amostras deformadas e indeformadas da campanha de investigações de 2014 da Pattrol.

6.0 DADOS DE GEOLOGIA ESTRUTURAL

Como apresentado no item 5.2, a área de Tapira foi compartimentada em três domínios tectonoestruturais, sendo estes Domínios Oeste (DW) com as escamas 1 e a escama 2; Domínio Leste (DE) com três escamas - inferior, intermediária e superior; e, por fim, o Domínio Sul (DS), que define o alto topográfico marcado pela Serra da Canastra.

Silva C. H (2003), através de mapeamento geológico e análise estrutural nas rochas da região de Tapira, apresentou dados de evolução tectônica complexa que podem ser descritas, segundo o autor, pela atuação de seis fases de deformação.

A primeira fase deformacional, D1, é atribuída à foliação (S1), Em D2 é observado uma foliação composta (S2c) que corresponde a uma clivagem de crenulação apertada formada pelo paralelismo do acamamento sedimentar S0 e da xistosidade S1, em D2 também podem ser observadas falhas de empurrão. Na fase de deformação D3 foram geradas dobras de escala quilométrica com atitudes variando de N45 a 85W, D4 é uma foliação em baixo ângulo (S4) orientada em N43W/30SW com clivagem de crenulação que afeta a S2c e as dobras relacionadas à fase D3. Em D5 associam-se três zonas de cisalhamento de escala

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº MOSAIC -	PÁGINA 27/34
		Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A

regional, Zona de Cisalhamento do Alto Araguari (ZC Alto Araguari), Zona de Cisalhamento da Canastra (ZC Canastra) e Zona de Cisalhamento da Bocaina (ZC Bocaina). As três zonas de cisalhamento de D5 são direcionais, com caráter dúctil-rúptil e mergulhos verticais a subverticais. A fase D6 é caracterizada por dobras abertas, normais a inclinadas, de escala centimétrica e ocorrência local com eixos orientados na direção norte-sul com caimentos íngremes a suaves, com atitude preferencial de N05W/05.

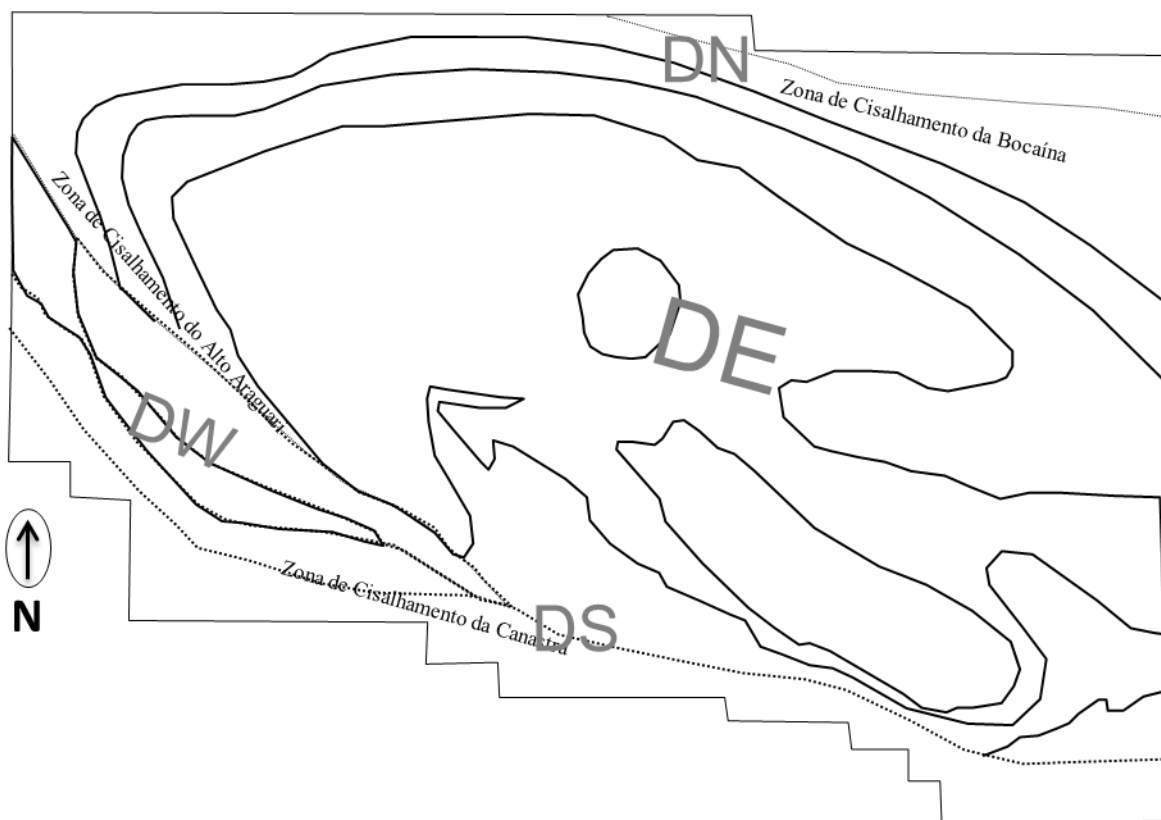


Figura 6.1 - Organização estrutural da área de Tapira, demonstrando os Domínios tectonoestruturais (Silva C. H. 2003).

As rochas das unidades da área registram, em maior escala, os efeitos da fase de deformação principal D4, D5 e D6. Segundo Silva C. H. (2003) as fases D1, D2 e D3 são menos expressivas e ocorrentes em menor escala. Os mesmos autores comentam que as estruturas relacionadas à fase D1 são desenvolvidas nas rochas do Domínio Oeste e das escamas intermediária e superior, no Domínio Leste. Tais rochas, em conjunto com as da escama inferior Domínio Leste (DE) e Domínio Sul (DS) registram as estruturas relacionadas às fases D2 e D3.

A região de Tapira pertence a um ambiente de bacia de margem passiva, aberta no fim do Mesoproterozóico com intrusão da Província Ígnea estabelecida no Neocretáceo. A área mostra uma história estrutural complexa, com evolução tectônica e condições de estabilidade estrutural tectônica, relacionada por Silva C. H. (2003), ocorrendo entre 650 a 580 Ma para esse segmento da Faixa Brasília.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 28/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

7.0 SISMICIDADE REGIONAL

A estimativa da ameaça sísmica é de extrema relevância na engenharia geotécnica, uma vez que as diretrizes normativas (NBR 13.028:2017) recomendam avaliação da estabilidade física da estrutura perante à eventos sísmicos. Como a estrutura apresenta susceptibilidade ao fenômeno de liquefação (ver item 5.3.2 deste relatório), torna-se necessário avaliar o grau de segurança para evitar um possível gatilho ao fenômeno citado.

Para Oliveira e Marchioreto (2013), alguns sismos podem ser “induzidos” pela intervenção do homem na natureza. Contudo, sismos desta natureza registrados no Brasil possuem pequenas magnitudes. Os mesmos autores definem que, para ocorrências de sismos induzidos em reservatórios, o mecanismo aceito é o da percolação d’água a grandes profundidades, em planos de fraqueza do maciço rochoso subjacente ao reservatório, que estejam submetidos a estados críticos de tensão, ou seja, próximos à ruptura.

Portanto, a investigação das condicionantes geológicas é fundamental para se determinar o perigo sísmico nas áreas onde há grandes obras, como hidrelétricas e barragens de rejeito (Lopes, 2010).

De modo geral, o período mais crítico é justamente a fase de enchimento, pois trabalhos realizados em vários reservatórios têm mostrado o início de alguma atividade sísmica ou mesmo um aumento na sismicidade local durante a fase de execução ou após um breve período de sua finalização, em um intervalo de tempo de até 3 anos após o enchimento do reservatório, ou superiores (Ribotta, 2010).

De acordo com a ABNT NBR 13.028/2017, é recomendado a utilização do critério sugerido pela *Canadian Dam Association* (CDA), que indica a adoção da aceleração da gravidade resultante do Sismo Máximo Provável (MCE – *Maximum Credible Earthquake*) para análises pseudoestáticas.

Diante do exposto e levando em consideração o critério do CDA, deve ser utilizado um tempo de recorrência para o evento sísmico entre 2.475 e 10.000 anos, assim como os registros e bibliografia existente para o território nacional remete a um tempo de recorrência de 2.475 anos.

Pelo fato de não se ter leituras sísmicas representativas da região em que a Barragem BR (Tapira) está locada, optou-se pela análise por meio de carregamentos pseudoestáticos, aplicados nas direções horizontal e vertical, especificando o coeficiente de carga sísmica correspondente. Este método de análise é o recomendado pela ABNT NBR 13.028/2017.

A Figura 7.1 representa o mapa mais atualizado para o território brasileiro e foi desenvolvido por Assumpção *et al.* (2016) e publicado no Boletim nº 96/2016 da Sociedade Brasileira de Geofísica e que contém a distribuição das acelerações de pico em rocha com probabilidade de excedência de 2% durante 50 anos, correspondendo a um período de recorrência de 2.475 anos.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº MOSAIC -	PÁGINA 29/34
		Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A

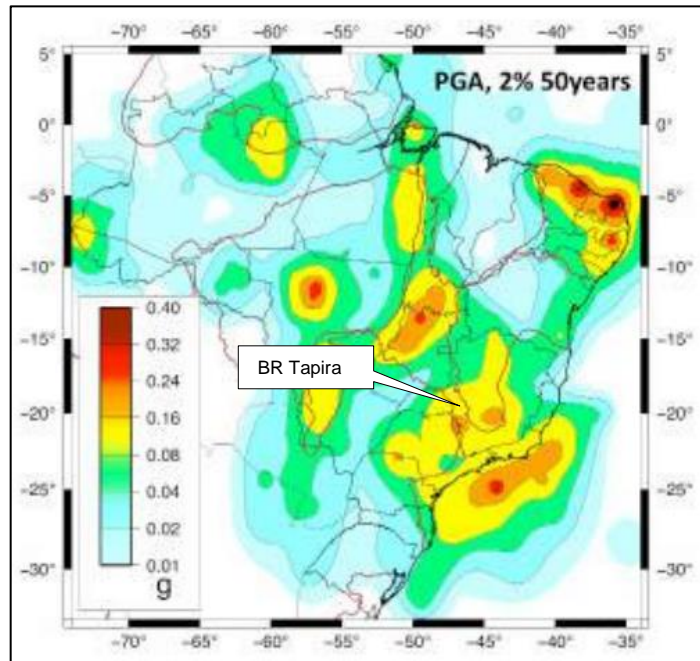


Figura 7.1 - Mapa de Ameaça Sísmica para acelerações de pico em rocha com destaque para a localização de BR (Tapira). Fonte: Boletim nº 96/2016 SGBf.

Uma observação importante é que, aparentemente, boa parte das barragens de rejeito no Brasil são projetadas para acelerações de 0,03 g ou 0,05 g, valores sugeridos por Eletrobrás (2003). A extensão das áreas verdes da Figura 7.1 sugere que estes valores precisariam ser revistos (Assumpção et al., 2016).

Portanto, com base nas informações apresentadas, a Barragem BR (Tapira) está localizada na região em que a aceleração está compreendida entre 0,08 e 0,16 g. Cabe ressaltar que a escala apresentada é regional e pode ser superestimada.

A *United States Nuclear Regulatory Commission* (USNRC, 1508), dada a complexidade e nível de segurança em projetos nucleares, considera-se razoável a adoção do valor da aceleração horizontal de 0,10 g, valor este condizente ao intervalo de 0,08 g e 0,16 g, pelo que o mesmo foi adotado no presente trabalho.

Em relação aos movimentos verticais do terreno, ainda são poucos os dados disponíveis de modo que, na prática, os métodos de projeto se baseiam numa aceleração vertical de pico, a qual é assumida como sendo uma fração da aceleração horizontal de pico do terreno. Usualmente, utiliza-se o valor 2/3 da aceleração horizontal para a aceleração vertical (WERNER, 1976).

Portanto, foram adotados os valores de aceleração horizontal de pico em rocha igual a 0,10 g e aceleração vertical de pico em rocha igual a -0,06 g (aplicação da carga de baixo para cima).

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 30/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

8.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos foi contratada pela MOSAIC Fertilizantes para elaborar o Relatório Técnico de Risco Geológico, Estrutural e Sísmico da Barragem BR, localizada no município de Tapira, estado de Minas Gerais.

A crista da Barragem BR encontra-se atualmente na El. 1200 m. Foram realizados até então, 4 (quatro) alteamentos pelo método de linha de centro. A estrutura possui um dique de partida composto por solo homogêneo compactado com crista na El. 1160 m. Os alteamentos foram realizados utilizando como material no maciço o rejeito de magnetita. Para controle de praia foram lançados rejeitos de flotação, do tipo overflow, por hidrociclones.

Face à condição observada da estrutura, de não atendimento aos fatores de segurança normativos observados nas análises de estabilidade, realizadas no primeiro semestre de 2019 (WBH122-17-MOSC054-RTE-0013 e DF19-023-1-EG-RTE-0013), tornou-se necessária a implantação de um reforço na estrutura. A WALM foi contratada para elaborar o projeto de reforço e no segundo semestre de 2019 o mesmo foi executado.

O material previsto para o reforço é constituído de rejeito de magnetita que segundo recomendado no relatório de reforço, nº WBH122-17-MOSC061-ETC-0003, deve apresentar grau de compactação mínimo de 98% e teor de umidade ótima (W_{ot}) podendo variar de -2% a +2%. Não foram disponibilizados dados de controle de execução durante a obra ou relatório *As Built*. Desta forma, não foi possível avaliar se o reforço foi executado conforme especificação construtiva de projeto.

As informações disponibilizadas mostraram que ocorreram campanhas de investigações geológica-geotécnica com o intuito de fundamentar de forma mais assertiva o entendimento das estruturas que compõem a Barragem BR (ombreiras, maciço, praia, sistema extravasor e pé).

Foram feitas campanhas de investigação geológica-geotécnica no ano de 2007, com a execução de 5 sondagens, duas delas para a instalação de medidores de nível d'água e os outras três para a instalação de drenos horizontais profundos (DHPs). Em 2014, a Pattrol realizou uma nova campanha, consistindo de 37 sondagens à percussão, 6 ensaios do tipo CPTu com ensaios de dissipação, de infiltração e de densidade "*In situ*" e escavação de 10 poços para retirada de amostras deformadas. Novas campanhas da Pattrol foram executadas em 2017, 2018 e 2019, totalizando mais 16 sondagens à percussão e 8 ensaios do tipo CPTu. Também em 2019 a Pattrol realizou a perfuração de 10 novos furos de sondagens para instalação de instrumentos, 5 indicadores de nível d'água (INA) e 5 piezômetros tipo Casagrande.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 31/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

O material descrito nas sondagens, de 2014 a 2019, nas ombreiras são os solos residuais com baixa permeabilidade, na ordem de 10^{-5} cm/s a impermeável. Porém, na ombreira direita são encontrados, em menor proporção, alguns materiais porosos apresentando permeabilidade de 10^{-4} cm/s a 10^{-5} cm/s. Os índices de resistência apresentados nas sondagens das ombreiras são na ordem de médio a duro, com exceção da camada de solo mole apresentado no SP-20. No relatório de projeto de reforço nº WBH122-17-MOSC061-ETC-0003, é abordado a necessidade de remoção de camadas superficiais de *top soil* e solos moles das ombreiras, devendo ocorrer a remoção total da camada caso a mesma seja maior que 0,30 m.

O mesmo padrão de resistência se repete no solo residual da crista com consistência variando de média a dura e, para as areias de magnetita, nas camadas sobrepostas ao solo residual, é apresentado compactidade média a compacta. No sistema extravasor, nas camadas de solo residual, ocorrem índice de resistência na escala de médio a duro, o mesmo padrão é visto nas sondagens do pé da barragem. Os ensaios de infiltração executados no sistema extravasor e pé da barragem apresentaram permeabilidade em torno de 10^{-4} cm/s a impermeável. O nível de água, quando encontrado, está associado à camada de solo residual.

Os materiais que compõem a estrutura, de acordo com os ensaios CPTu realizados, podem ser caracterizados como susceptíveis à liquefação, uma vez que os mesmos apresentam em sua maioria, comportamento contrátil.

Os novos instrumentos na região do maciço indicaram a presença de nível d'água entre 15 a 35 metros de profundidade. Os instrumentos instalados nas ombreiras, indicaram presença de nível d'água variando de 10 a 15 metros. Não foi disponibilizado a carta de risco com os níveis de controle de instrumentação. Ainda, encontra-se em elaboração pela DF+ a atualização da carta de risco considerando a situação atual da estrutura pós reforço e com os novos instrumentos instalados.

A Barragem BR (Tapira) encontra-se em uma região intraplaca, com baixa quantidade e magnitude de sismos. A aceleração está compreendida entre 0,08 e 0,16 g, em escala regional, o que condiz com os valores aceitáveis em nível de projetos nucleares, entretanto não condiz com os valores sugeridos por Eletrobrás (2003).

Os estudos sísmicos disponíveis são em nível nacional, podendo haver alterações nos valores observados caso seja realizado um estudo local para a região de Tapira. Desta forma, recomenda-se a elaboração de estudo sísmico local para a unidade e da instalação de uma estação microssísmica para acompanhamento das leituras na Barragem BR.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº MOSAIC -	PÁGINA 32/34
		Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A

9.0 EQUIPE TÉCNICA

EMPRESA RESPONSÁVEL POR ESTE RELATÓRIO		
Razão social: DF+ ENGENHARIA GEOTÉCNICA E RECURSOS HÍDRICOS LTDA CNPJ: 07.214.006/0001-00	http: www.dfmais.eng.br	
Belo Horizonte / MG - dfmais@dfmais.eng.br - Av. Barão Homem de Melo, 4554 - 5º Andar – 30.494-270 – Belo Horizonte - MG - Tel. 0 (**) 31 2519 1001		
EQUIPE TÉCNICA DA DF+		
ESTA EQUIPE PARTICIPOU DA ELABORAÇÃO DESTE DOCUMENTO E RESPONSABILIZA-SE TECNICAMENTE POR SUAS RESPECTIVAS ÁREAS		
TÉCNICO	ÁREA DE ATUAÇÃO	RESPONSABILIDADE NO PROJETO
Marcus Cruz	Recursos Hídricos	Coordenação
Thiago Oliveira	Geotecnia	Revisão do Documento
Breno Lucena	Geotecnia	Elaboração do Documento
Mariane Silva	Geologia	Elaboração do Documento

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 33/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

10.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.028: Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos. Rio de Janeiro, 2017. 16p.

ASSUMPÇÃO, M. D., FÀBIO L.; ZEVALLOS, I.; NALIBOFF, J. B.. Intraplate stress field in South America from earthquake focal mechanisms. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 71, p. 278-295, 2016.

BRASIL. PORTARIA ANM 70.389, de 17 de maio de 2017. Mineração – Criação do cadastro de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

BROD, J. A. 1999. Petrology and geochemistry of the Tapira alkaline complex, Minas Gerais State, Brazil. University of Durham, UK (Phd thesis).

BROD J. A, RIBEIRO C. C., GASPAR J. C., JUNQUEIRA-BROD T. C., BARBOSA E. S. R., RIFFEL B. F., SILVA J. F., CHABAN N., FERRARI A. J. D. 2004. Excursion guide: Geologia e Mineralizações dos Complexos Alcalinos-Carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba. *Soc. Bras. Geol.*

CDA (2013): Dam Safety Guidelines. Canadian Dam Association, 2013.

DARDENNE, M. A. The Brasilia Fold Belt. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro: SBG, 2000. p. 230-263.

FUCK, R. A. A. Faixa Brasília e a Compartimentação Tectônica na Província Tocantins. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4., 1994, Brasília. Atas... Brasília: SBG, 1994. p. 184-187.

GIBSON S. A., Thompson R. N., DICKIN A. P., LEONARDOS O. H. 1995. High-Ti and low-Ti mafic potassic magmas: Key to plume-lithosphere interactions and continental flood-basalt genesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 136: 149-165.

LOPES, A. E. V. “Risco Sísmico no Brasil e Seu Impacto sobre Grandes Obras”, in *Revista do Instituto de Engenharia*, 58, 7, 2010.

OLIVEIRA, W. C.; Marchioreto, A. 2013. Relatório Técnico Final de Monitoramento Sismológico. COPEL. São Paulo, SP; Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

		RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DA BARRAGEM BR	
PROJETO CONCEITUAL BARRAGENS BARRAGEM BR RISCO GEOLÓGICO, ESTRUTURAL E SÍSMICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº MOSAIC -	PÁGINA 34/34	
	Nº DF+ DF19-261-1-EG-RTE-0001	REV. A	

RIBOTTA, L. C., M. Assumpção, J. L. Manuzzi, A. M. B. E. Carvalho, and J. V. M. Regina (2010). Seismicity induced in 4 deep reservoirs, Southern Brazil, 2010 The Meeting of the Americas (AGU - American Geophysical Union), Foz do Iguaçu, PR, Brazil, 8–12 August.

SILVA, C. H., 2003. Evolução geológica da Faixa Brasília na região de Tapira, sudoeste de Minas Gerais. Tese de Doutorado. UNESP, Rio Claro, 196 p.

SIMÕES, L. S. A.; VALERIANO, C. M. Porção meridional da Faixa de Dobramentos Brasília: estágio atual do conhecimento e problemas de correlação tectonoestratigráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. Anais... Natal: SBG., v. 6, p. 2564-2575, 1990.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (USNRC) NUREG-1508, "Final Environmental Impact Statement To Construct and Operate the Crownpoint Uranium Solution Mining Project, Crownpoint, New Mexico." Washington, DC: NRC. February 1997.

VALERIANO, C. M.; TEIXEIRA W.; HEILBRON M.; SIMÕES L. S. A. Southern Brasília belt (SE Brazil): tectonic discontinuities, K-Ar data and evolution during the Neoproterozoic Brasileiro orogeny. Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 1, p. 195-199, 2000.

VALERIANO, C. M.; Dardenne M. A.; Fonseca M. A.; Simões L. S. A.; Seer H. J. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: MANTESSO NETO, V. et al. (Orgs.). Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. [S.l.]: Beca, p. 575-592, 2004a.

VALERIANO, C. M.; MACHADO, N.; SIMONETTI, A.; VALLADARES, C. S.; SEER, H. J.; SIMÕES, L. S. A. U-Pb geochronology of the southern Brasília belt (SEBrazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. Precambrian Research, v. 130, p. 27-55, 2004b.

WERNER, S.D. Engineering characteristics of earthquake ground motions. Nuclear Engineering and Design, 36 (3): 367-95, Mar. 1976.

