

	CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 2/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1



--	--	--	--	--	--	--	--





		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 3/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.0	OBJETIVO	5
2.0	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	6
3.0	CÓDIGOS E NORMAS	7
4.0	BIBLIOGRAFIA	7
5.0	GEOLOGIA REGIONAL	8
6.0	GEOLOGIA LOCAL	9
7.0	RESUMO DAS INVESTIGAÇÕES	11
7.1	investigações para estudo das fundações das obras de arte	11
7.2	sondagens para prospecção do material de empréstimo e subleito da via	12
8.0	CARACTERIZAÇÃO DO SUBSOLO	14
8.1	PERFIL DO SUBSOLO	14
8.2	MACIÇO ROCHOSO	15
9.0	SOLUÇÃO DE FUNDAÇÃO	16
9.1	Tipo de solução	16
9.2	Diâmetros x Cargas	17
9.3	Camisa metálica perdida	18
9.4	Critérios adotados para o cálculo de capacidade de carga geotécnica das estacas:	19
9.5	CARGAS ATUANTES	36
9.6	COMPRIMENTOS DE EMBUTIMENTO	37
9.7	PROVAS DE CARGA	41

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 4/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

9.8	ACOMPANHAMENTO DA EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES	43
10.0	TERRAPLENAGEM	45
10.1	Da topografia local	45
10.2	Do lançamento dos taludes	46
11.0	Estudo de estabilidade dos taludes	47
11.1	Lado de São Félix	55
11.2	Lado de Marabá	72
12.0	FUNDAÇÃO DA VIA FÉRREA	85
12.1	Caracterização dos materiais do subleito e indicação do reforços do subleito	85
12.2	Tensão admissível no nível do subleito.	88
13.0	Empréstimos	90
13.1	Lado de São Félix	91
13.2	Lado de Marabá	99
ANEXOS		101



		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 5/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

OBJETIVO

Este documento tem por objetivo apresentar as especificações geotécnicas necessárias à elaboração dos projetos de duplicação da ferrovia no trecho entre Marabá e Tocantins. Para tanto, serão abordadas as fundações das obras de arte (pontes ferroviária e rodoviária) e as questões geotécnicas que envolverão a terraplanagem de implantação do viário.



No que tange as obras de arte (pontes ferroviária e rodoviária), serão fornecidas as especificações para o desenvolvimento dos projetos de fundações e também critérios e parâmetros geomecânicos que permitam o dimensionamento estrutural dos elementos de fundação.

No que concerne a terraplanagem, serão apresentadas as análises de estabilidade dos taludes previstos na implantação e fornecidas os procedimentos e especificações executivas para o desenvolvimento do projeto de terraplanagem (corte /aterro).

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 6/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

RL—2530-11-6000	Relatório Técnico sobre a análise do comportamento das fundações da Ponte sobre o Rio Tocantins, Geotécnica 1982.
RL- 2530- 17-904	Relatório Técnico sobre a análise do comportamento das fundações da Ponte sobre o Rio Tocantins, Geotécnica 1982.
RL-2530KF-B-00071	Sondagens Ensaios de laboratório sobre amostras de solo Franco Engenharia 2011 para FEL-2
RL-2500KF-X-07302_REV_1	Relatório de sondagens geofísica feita pela Hatch Infrastructure em 2015.
RL-2530KF-C-07302_REV_1	Relatório geotécnico-HATCH -2015.
RL-2530KF-X-00406	Relatório de sondagens mistas (SPT em solo Rotativa na rocha) executadas pela Geominas 2019.
RL-2530KF-X-00407	Relatório de sondagens SPT executadas pela Geominas 2019.
CPRM-2001	Carta Geológica de Marabá - CPRM 2001.
RL-2530KF-G-14002_Rev_B	Relatório de investigações geotécnicas e ensaios de laboratório, emitido em Abril de 2015, contendo sondagens mistas (SPT em solo e rotativa na rocha) executadas pela Geodrill e ensaios de compressão simples de rocha executados pela Geodrill e Cientec
MC-2530KF-C-50026	Memória de cálculo estrutural das obras de arte elaborada pela EGT engenharia.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 7/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

CÓDIGOS E NORMAS

NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto

NBR 6122 Projeto e execução de fundações

NBR 8681 Ações e segurança nas estruturas

NBR 11682 Estabilidade de Encostas

NBR 12.131 Prova de carga em Estaca

ABEF (2004): Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos ABEF, Editora Pini, São Paulo – SP,

BIBLIOGRAFIA

1. **Cabral, D.A.; Antunes, W.R. (2000):** Sugestão para a determinação da capacidade de carga de estacas escavadas embutidas em rocha. SEFE IV, São Paulo. pp. 169-173.
2. **Broms, B.B. (1964):** “Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils”. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 90, pp. 123-156.
3. **Poulos, H.G.; Davis, E.H. (1980):** “Pile Foundation Analysis and Design”, John Wiley & Sons Inc., Nova Iorque, 232 p.
4. **Teixeira, A.H.; Godoy, N.S. (2016):** Análise, projeto e execução de fundações rasas. Em Fundações – Teoria e Prática, Hachich *et al* (eds.), Ed. Pini Ltda., São Paulo, Cap. 7,

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 8/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1



5. **ABMS/ABEF (1996):** Fundações Teoria e Prática. 1 ed. São Paulo: PINI, 751 p.

GEOLOGIA REGIONAL

A figura abaixo reproduz uma pequena parte da Carta Geológica de Marabá (CPRM-2001) na qual se vê que a área está inserida no Cinturão do Araguaia, onde as rochas são representadas por metassedimentos pelíticos, de baixo grau de grau de metamorfismo, de fáceis xisto verdes, constituídas essencialmente de filitos, clorita xistos, sericita-clorita-xistos e calco-muscovita-clorita xistos.



Figura 1: Carta geológica de Marabá

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 9/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Subordinadamente ocorrem silixistos e rochas ferríferas bandadas. Fácies metamórfica xisto-verde baixo a médio, alcançando o grau anquimetamórfico. A marcante anisotropia estrutural é expressa por alternâncias milimétricas de níveis filtosos e silicosos, sendo resultante de extrema deformação com consequentes transformações em estágio milonítico.

Sedimentos quaternários são encontrados nas planícies aluvionares dos rios, principalmente na calha do Tocantins e Itacaiúnas. Os sedimentos de idade pleistocênica são representados por toda a sequência granulométrica, desde os cascalhos até as argilas, consolidados ou semi-consolidados.

GEOLOGIA LOCAL

Para melhor caracterizar a geologia local apresenta-se o perfil geológico montado com base nas sondagens mistas executadas em cada um dos pilares da ponte ferroviária.

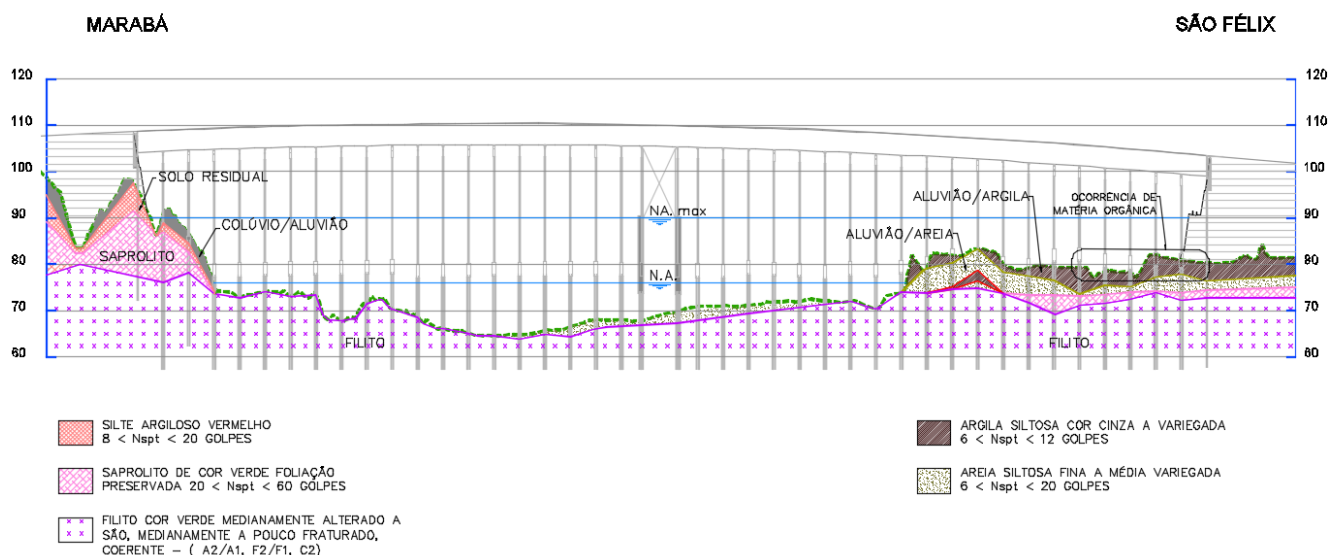




Figura 2: Perfil longitudinal geológico

1. Embasamento rochoso

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 10/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

As sondagens mostram que o embasamento é constituído de um filito da Formação Couto Magalhães, que é uma rocha metassedimentar fina, com foliação sub-horizontal bem marcada, constituída por sericita, caulinita e quartzo, de coloração verde acinzentada, medianamente consistente a consistente, medianamente a pouco alterada e variando de pouco a muito fraturado.

2. Trecho submerso



No leito do rio, próximo a Margem Esquerda (Marabá) não há depósitos aluvionares e a rocha aflora no leito do rio; já no lado oposto as sondagens mostram a presença de um horizonte de areia fina siltosa com espessura de poucas dezenas de centímetros até cerca de 5m. Entre a areia e o dorso rochoso é comum se encontrar uma delgada camada de seixos rolados; porém nas SM-22 essa camada tem da ordem de 4 metros espessura.

3. Margem Direita – São Felix

Há um extenso trecho da ponte, com cerca de 660m de comprimento no qual o terreno só fica submerso em vazões muito elevadas do rio. Nesse trecho, o aluvião é formado basicamente pela mesma areia fina siltosa já descrita acima, mas, neste lado ocorrem também bolsões de argila, inclusive com a menção de matéria orgânica; entretanto, se trata de um material consolidado ou semi-consolidado, já que os valores de N_{spt} são relativamente elevados, não sendo encontrado valores inferiores a 6 golpes.

4. Margem Esquerda - Marabá

Nesta margem a topografia é muito mais íngreme, de modo que se sai do leito do rio sobre rocha para a margem que já mostra o solo residual de filito, e sobre ele há um horizonte coluvionar.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 11/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

RESUMO DAS INVESTIGAÇÕES

7.1 investigações para estudo das fundações das obras de arte

Sondagens Mistas

Para o dimensionamento das fundações foram feitas sondagens mistas, sendo uma para cada pilar. Além delas foram feitas 4 sondagens para os dolphins e ainda várias sondagens entre os P.13 e P.14 para investigar se as barcas de concreto empregadas na obra da primeira ponte, e que foram afundadas nessa região, não estariam interferindo com as estacas projetadas.

As sondagens penetraram em rocha de 10 a 20m o que é perfeitamente adequado para a definição das fundações.



Os boletins dessas sondagens estão apresentados nos relatórios RL-2530KF-G-14002_Rev_B e RL-2530KF-X-00406.

Geofísica

A perfilagem sísmica de alta resolução, cujos resultados foram apresentados no RL-2500KF-X-07302, teve por objetivo o reconhecimento do subfundo do rio.

Este sistema de levantamento funciona segundo o princípio de emissão, transmissão e reflexão de ondas acústicas entre dois ou mais meios físicos de propriedades elásticas distintas (coluna d'água, camadas sedimentares e rocha).

A perfilagem sísmica reflexiva de alta resolução apresentou dados como sendo um rio de leito irregular. As ondas tiveram penetração apenas até o segundo refletor horizontal, muito provavelmente devido à grande quantidade de rochas no leito, como, também sua natureza arenosa, dificultando a passagem dos pulsos sonoros através do subleito.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 12/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Entretanto, o leito pode ser considerado “resistente” em toda a extensão da área. Mesmo assim, foram sugeridos pontos de sondagens para confirmação da assinatura sísmica e melhor avaliação do leito fluvial, que podem ser realizados em qualquer ponto do trecho estudado.

Aparentemente, como a data de execução desta investigação e das sondagens mistas é próxima (nov. e dez/2014), não foi feita uma reavaliação dos sinais das ondas acústicas com base nos resultados das sondagens. De qualquer forma o ensaio cumpriu sua função.

Ensaio na rocha

No relatório RL-2530KF-G-14002_Rev_B estão os diversos ensaios de compressão simples da rocha feitos nos testemunhos das sondagens rotativas. Estes ensaios foram realizados em fev/2015 pela Geodrill e Cientec.

Além destes resultados, também foram considerados os dados contidos no relatório RL-2530-11-6000, feito pela Geotécnica em 1982 quando a ponte existente foi construída. Este relatório compila os resultados dos vários ensaios a compressão simples feitos em testemunhos de sondagens rotativas e também em corpos de prova cúbicos, com 10 cm x 10 cm x 10 cm, extraídos dos tubulões a ar comprimido que foram feitos como parte das fundações.



sondagens para prospecção do material de empréstimo e subleito da via

Ensaio SPT



Foram executados ensaios SPT ao longo da via para caracterização do solo do subleito e para avaliar a profundidade do lençol freático, além disso, nas áreas onde eram previstos aterros volumosos, foram locadas sondagens específicas para permitir o traçado de seções geotécnicas e assim avaliar a estabilidade do maciço.

Ensaio laboratoriais

Dispõem-se de ensaios laboratoriais com as devidas caracterizações do solo, sendo: umidade natural, granulometria, limite de liquidez, índice de plasticidade, compactação e CBR.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 13/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Estes ensaios foram executados em amostras extraídas de profundidades de até 2,5 metros em pontos localizados no eixo da futura via férrea, bem como, espelhados nas áreas de empréstimo do lado de Marabá e de São Félix.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE	PÁGINA
			RL-2500KF-C-50002	14/101
			Nº EGT	REV.
			VR19A-S1R-00-005	1

CARACTERIZAÇÃO DO SUBSOLO

PERFIL DO SUBSOLO

São Félix

O subsolo é composto por camadas de solo aluvionar de espessura variável seguida pelo solo residual de filito.

A camada aluvionar é composta por solos silto argilosos / argilo siltosos de coloração cinza amarelada sendo também registradas lentes de areias finas.



No trecho entre os kms 724+800 e 723+800, os primeiros 2 a 3 metros do solo aluvionar tem valores baixos de N_{spts}, da ordem de 2 a 6 golpes. Contudo, este registro não é persistente em todas as sondagens desta região, ele é mais notável nas prospecções executadas na interseção São Félix nos furos: SP-27, SP-70, SP-71e SP-81. Passada esta primeira camada o aluvião segue com N_{spts} crescentes com a profundidade, sendo registrados índices entre 7 e 20 golpes.

No trecho restante, que fica entre os km 723+800 até o 721+730, a camada aluvionar menos competente é mais destacada, tendo espessuras entre 3 a 4 metros. Aqui também esse material não é constante ao longo do trecho, sendo mais notável nas sondagens SP-18, SP-101, SP-08 a SP-14, e SP231 a SP233, no restante da camada o aluvião segue conforme descrito anteriormente.

Esta diferença observada nos primeiros metros do solo aluvionar possivelmente seja justificada pela exploração da área, como será melhor detalhado no item 10.

O solo residual, quando detectado, é silto arenoso, cinza a marrom com valores de N_{spts} maiores que 20 golpes e crescentes com a profundidade.

Por fim, o lençol freático se mostrou próximo a superfície. Na maioria das sondagens o N.A. (nível d'água) está entre 0 e 1,5 metros de profundidade, sendo registrado um pouco mais profundo nas prospecções feitas no

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 15/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

acesso rodoviário, furos SP-65 a 68, SP-71 a 74, SP-76, SP-78 e nas sondagens do início da duplicação, furos SP-231 a 233.

Marabá

Nas regiões de morro o subsolo é composto desde o topo por solo residual e nas regiões de talvegue é observada uma camada superficial de solo coluvionar sobreposta aos residual.



Nos morros o solo residual é silto argiloso / silto arenoso de cor cinza com ocorrências de tons amarelo e vermelho. Os valores de N_{spts} são maiores que 10 golpes e crescentes com a profundidade.

Nos vales, o solo coluvionar é silto argiloso / silto arenoso de coloração amarela a marrom com espessura varando ente 2 e 3 metros. Os valores de N_{spt} variam ente 3 e 6 golpes. Esse material pode ser observado nas sondagens, SP-94 a 96, SP-152, SP-157 a 159, SP-163 e SP-222C.

O lençol freático, como era de se esperar, é profundo na região dos morros, sendo registrado a mais de 7 metros de profundidade, e nas regiões de talvegue é superficial.

MACIÇO ROCHOSO

As sondagens rotativas caracterizam o topo rochoso a profundidades variáveis, sendo:

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 16/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

5. Na margem direita (São Felix) está a cerca de 10 metros de profundidade;
6. Na margem esquerda (Marabá) está a 20 metros na região do encontro e, conforme caminha em direção ao rio, vai ficando menos profundo chegando a estar a 1,4 metros de profundidade no pilar P39;
7. No leito do rio ele aflora nos entre os pilares P38 ao P27 e P14 ao P13 e nos trechos restantes a rocha é coberta por uma camada delgada de areia aluvionar.

A rocha caracterizada é metasedimentar, sendo um filito de cor verde, com presença de veios de quartzo, fraturas sub-verticais e sub-horizontais e foliação de granulação fina orientada na direção sub-horizantal.

Boa parte das sondagens caracterizaram a rocha como pouco alterada a sã (A2/A1), pouco a medianamente fraturada (F2/F3), medianamente coerente (C2) e com valores de RQD – “Rock Quality Designation” erráticos com a profundidade, sendo observado na mesma prospecção desde valores baixos, que vão de 0 a 30% até valores altos que vão de 70 a 100%.



De forma geral, não se observou uma região específica em que se possa fazer uma distinção da qualidade da rocha, pelo contrário, o que se tem é que boa parte das prospecções apresenta a caracterização descrita acima e algumas poucas sondagens, entremeadas a sondagens típicas, se destacam por apresentar uma rocha mais fraturada e com camadas mais espessas com RQDs baixos.

Isso pode ser observado nas SM-02, SM-05, SM-14, SM-40 e SM-E02. Nelas são registradas rochas medianamente a muito fraturada (F3/F4) e camadas espessas com RQDs entre 0 e 30%; já a alteração e a coerência se mantem igual às demais sondagens da área, sendo A1/A2 e C2.

SOLUÇÃO DE FUNDAÇÃO

Tipo de solução

Para este tipo de obra, tendo em vistas as características do perfil de subsolo e as cargas atuantes, a solução técnica e economicamente mais indicada é através de estacas escavadas de grande diâmetro embutidas em rocha.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 17/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Este tipo de solução emprega perfuratriz hidráulica tipo **Wirth**, camisas metálicas perdidas que avançam até o topo rochoso, brocas de perfuração dotadas de “roller-bits” e sistema de circulação reversa para transportar com eficiência o material escavado até a superfície.

Cabe esclarecer que **Wirth** é um fabricante de equipamentos que, no passado, foi pioneira nesse tipo de estaca. Atualmente, existem outros fabricantes, inclusive firmas brasileiras, que disponibilizam equipamentos com vários diâmetros de perfuração.

Diâmetros x Cargas



De acordo com a NBR-6122 a tensão média acima da qual é necessário armar os fustes das estacas é de 6 MPa. Esse critério costuma ser utilizado de forma preliminar para a escolha dos diâmetros das estacas tendo como base a carga de trabalho.

No presente caso, em função dos esforços transversais e de tração, as estacas serão integralmente armadas, portanto não há necessidade de se escolher da seção do elemento de fundação pela tensão limite de 6 MPa.

Por outro lado, não se pode elevar demais essa tensão, pois isso implicaria em aumentar a taxa de armadura o que poderia gerar dificuldades de concretagem da estaca. Portanto, com base em experiência obtidas em outras obras, se julgou adequado limitar a tensão média a 8 MPa.

Assim, se obteve as seguintes relações diâmetro/carga de trabalho:

Ponte	Carga de trabalho da estaca	Diâmetro adotado de estaca
-------	-----------------------------	----------------------------

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 18/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Ferrovária	1200tf	140 cm
Rodoviária	860tf	120 cm
Dolfins (*)	330tf	80 cm

Tabela 9. 1: Carga de trabalho x diâmetro da estaca



* Estacas dimensionadas para suportar valor elevado de esforços horizontais.

Camisa metálica perdida

Para a execução dessas estacas é necessário o emprego de uma camisa de aço perdida.

A camisa tem, obrigatoriamente, um diâmetro 10 cm maior do que o diâmetro efetivo da estaca, assim, elas terão diâmetros de 150cm para a ponte ferroviária e 130cm para a rodoviária e 90cm para as estacas dos dolphins.

A espessura da chapa que compõe as camisas será de 12.5mm na ponte ferroviária e 10mm na ponte rodoviária e dolphins. Essa espessura é determinada pela prática corrente.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 19/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Critérios adotados para o cálculo de capacidade de carga geotécnica das estacas:

Esforços de compressão

Para os esforços de compressão, as tensões admissíveis que as estacas transmitirão ao maciço rochoso serão estabelecidas com base em critérios que consideram as características da rocha local, características do concreto das estacas e os resultados de prova de carga estática executada na época de construção da ponte existente.

Uma vez definida estas tensões, os comprimentos de embutimento em rocha serão verificados de modo a respeitar os critérios de capacidade de carga da NBR 6122, sendo também verificado os valores mínimos embutimento, de natureza prática, recomendadas em literatura.

Tensões admissíveis definidas com base na característica da rocha local.

Tensão admissível de ponta ($\sigma_{p adm}$)

No que tange às características da rocha, foram considerados o tipo da formação rochosa, o grau de alteração do maciço, o grau de faturamento e a resistência à compressão simples dos testemunhos extraídos nas sondagens rotativas.



O tipo de formação tem por finalidade categorizar a rocha em um dos 3 principais tipos listados abaixo:

Tipo 1: Rochas ígneas e metamórficas;

Tipo 2: Rochas metamórficas foliadas;

Tipo 3: Rochas sedimentares;

Isso permite uma primeira estimativa da resistência à compressão simples da rocha, σ_r , feita com base em valores típicos de literatura, sendo:

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 20/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Tipo de Rocha	σ_r (MPa)
1	70 a 250
2	40 a 90
3	30 a 80

Tabela 9. 2: Valores típicos de σ_r

Para a obra em questão, face ao considerável número de ensaio a compressão simples disponível, o valor de σ_r será admitido considerando os resultados destes ensaios. O valor obtido será confrontado com os da tabela 9.4, sendo adotado o menor deles.

O grau de alteração e de faturamento do maciço servem para ponderar fatores de minoração de σ_r , e assim obter os valores de tensão de ruptura da ponta da estaca σ_{pr} .

Os fatores de minoração estão descritos em artigo publicado por **Cabral, D.A.; Antunes, W.R. (2000): Sugestão para a determinação da capacidade de carga de estacas escavadas embutidas em rocha. SEFE IV, São Paulo. pp. 169-173**, sendo:



$$\sigma_{pr} = \beta_o \beta_{po} \cdot \sigma_r$$

Onde:

σ_{pr} = Tensão de ruptura da ponta da estaca considerando o maciço descontínuo;

β_o = fator de minoração de resistência recomendado conforme tabela 9.5 que leva em consideração o grau de alteração da rocha;

β_{po} = fator adimensional de correlação que varia de 4 a 11.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 21/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Alteração	Varição de β_o (%)
Muito alterada	2,0 a 3,0
Alterada	6,0 a 9,0
Pouco alterada a Sã	12,0 a 15,0

Tabela 9. 3 Valores de β_o conforme **Cabral, D.A.; Antunes, W.R. (2000)**

Uma vez determinado o valor de σ_{pr} ; a tensão admissível de ponta da estaca, $\sigma_{p adm}$, é obtida considerando um fator de segurança mínimo de 3, sendo:

$$\sigma_{p adm} = \sigma_{pr} / 3$$

Determinação de σ_r



Considerando as características da rocha local descritas no item 8, temos rocha de formação metamórfica, foliada, pouco alterada / alterada.

1. Valores típicos conforme tabela Tabela 9. 2 são:

$$40 < \sigma_r < 90 \text{ Mpa}$$

2. Resultados dos ensaios de compressão simples:

Ensaio de compressão simples feitos na época de construção da ponte existente:

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 22/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1



Quantidade de amostra	$\sigma_{r \min}$ (MPa)	$\sigma_{r \max}$ (MPa)	$\sigma_{r \text{ méd}}$ (MPa)	Δ Padrão (MPa)	$\sigma_{r \text{ méd}} - \Delta$ Padrão (MPa)
20	2,10	83,10	33,00	19,00	14,00
13	22,10	56,80	38,20	10,50	27,70
15	17,60	79,10	45,80	16,90	28,90
12	8,50	54,30	36,40	15,40	21,00
4	15,90	24,20	20,90	3,80	17,01

Tabela 9. 4: Resumo dos resultados de compressão simples – Ponte existente

Ensaio de compressão simples feitos para a nova ponte:

Amostras	Sondagem Geodrill	σ_r (MPa)	Amostras	Sondagem Geodrill	σ_r (MPa)			
E-01A1	E-01	48,90	P18_C	P-18	16,08	σ_r médio	50,6	(MPa)
E-01A2	E-01	56,30	P22_B	P-22	50,12	Δ Padrão	24,0	(MPa)
E-01A3	E-01	56,00	P22_C	P-22	42,11			
P02_A1	P-02	37,30	P24_B	P-24	43,27			
P02_A2	P-02	54,80	P26_B	P-26	31,29	σ_r médio - Dpadrão		
P02_A3	P-02	63,40	P28_B	P-28	33,75		26,6	(MPa)
P04_A1	P-04	25,80	P30_A	P-30	68,12			
P04_A2	P-04	9,40	P30_B	P-30	32,64			
P04_A3	P-04	27,80	P30_C	P-30	10,79			
P08_A	P-08	71,41	P32_A	P-32	40,55			
P08_B	P-08	64,35	P32_B	P-32	65,58			
P08_C	P-08	70,62	P32_C	P-32	68,89			
P10_A	P-10	98,78	P34_B	P-34	88,42			
P10_B	P-10	87,32	P38_A	P-38	60,36			
P12_A	P-12	54,38	P38_B	P-38	34,34			
P14_A	P-14	45,30	P38_C	P-38	85,54			
P14_B	P-14	54,33	P40_A	P-40	101,98			
P14_C	P-14	21,18	P40_A	P-40	58,09			
P18_A	P-18	15,55	P40_B	P-40	52,51			
P18_B	P-18	32,04	P40_C	P-40	78,55			
			E2B	E-02	15,64			

Tabela 9. 5: Resumo dos resultados de compressão simples

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 23/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

$$14,00 < \sigma_r < 28,90 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{r \text{ adotado}} = 20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pr} = \beta_o \beta_{po} \cdot \sigma_r$$

$$\beta_o = 9\%$$

$$4 < \beta_{po} < 11$$

$$0,09 \cdot 4 \cdot 20 < \sigma_{pr} < 0,09 \cdot 11 \cdot 20$$

$$7,20 < \sigma_{pr} < 19,8 \text{ MPa}$$

$$2,4 < \sigma_{p \text{ adm } 1} < 6,60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p \text{ adm } 1} = 2,5 \text{ MPa (25kgf/cm}^2\text{)}$$

Tensão admissível lateral ($\sigma_{l \text{ adm}}$)



A tensão lateral, conforme **Cabral, D.A.; Antunes, W.R. (2000)**, deve ser 2,5 a 3,5% da resistência de ponta, sendo:

$$0,025 \cdot \sigma_r < \sigma_{lr} < 0,035 \cdot \sigma_r$$

$$0,025 \cdot 7,20 < \sigma_{lr} < 0,035 \cdot 19,80$$

$$0,18 < \sigma_{lr} < 0,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{l \text{ adm}} = \sigma_{lr} / 2$$

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 24/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

$$0,09 < \sigma_{I adm} < 0,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{I adm 1} = 0,25 \text{ MPa}; (2,5 \text{ kgf/cm}^2)$$

Tensão admissível de ponta definida com base na resistência do concreto da estaca

Tensão admissível de ponta ($\sigma_{p adm}$)

Este critério tem por finalidade confrontar a resistência do concreto da estaca frente a resistência da rocha, de modo a usar o menor dos dois como limitante ao dimensionamento.

No caso em questão, a tensão admissível da ponta da estaca, considerando a resistência do concreto simples é:

$$\sigma_{p adm 2} = 0,85 \times f_{ck} / (1,4 \times 1,8)$$



$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p adm 2} = 0,85 \times 20 / (1,4 \times 1,8)$$

$$\sigma_{p adm 2} = 6,74 \text{ MPa} (67,4 \text{ kgf/cm}^2)$$

Cabe observar que embora a estaca seja integralmente armada, não é prudente admitir a resistência da seção reforçada pelas barras de aço. Isso porque não se pode garantir que o fundo da perfuração esteja regularizado o suficiente para adotar que a tensão de contato seja maior que a resistência estrutural admissível do concreto.

Tensão admissível lateral ($\sigma_{I adm}$)

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 25/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

$$\sigma_{I adm 2} < f_{ck}/(2*15) = 0,65\text{MPa}$$

$$\sigma_{I adm 2} = 0,65\text{MPa} \Rightarrow 6,5\text{kgf/cm}^2$$



Tensões admissíveis medidas em prova de carga já realizada a ponte existente.

Além dos cálculos demonstrados acima, se dispõem do resultado da prova de carga estática feita na estaca 8 do pilar P-15 da ponte existente.

Esta prova de carga foi realizada em estaca de 150cm de diâmetro escavada dentro do rio com perfuratriz Wirth, ou seja, da mesma forma como as estacas da nova ponte serão executadas.

Além disso, a estaca ensaiada foi instrumentada com *“strain-gages”* o que permitir uma avaliação mais precisa da transferência das cargas do tubulão para a rocha de fundação.

A figura a seguir ilustra a estaca ensaiada e a sondagem próxima. Nela pode ser observado o embutimento do elemento de fundações em rocha de cerca de 9,5 metros. A rocha penetrada é medianamente a pouco fraturada (F3/F2) sendo medianamente alterada a alterada (A3/A2) nos 4 primeiros metros, e medianamente alterada a sã (A2/A1) nos 5,5 metros restantes.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 27/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

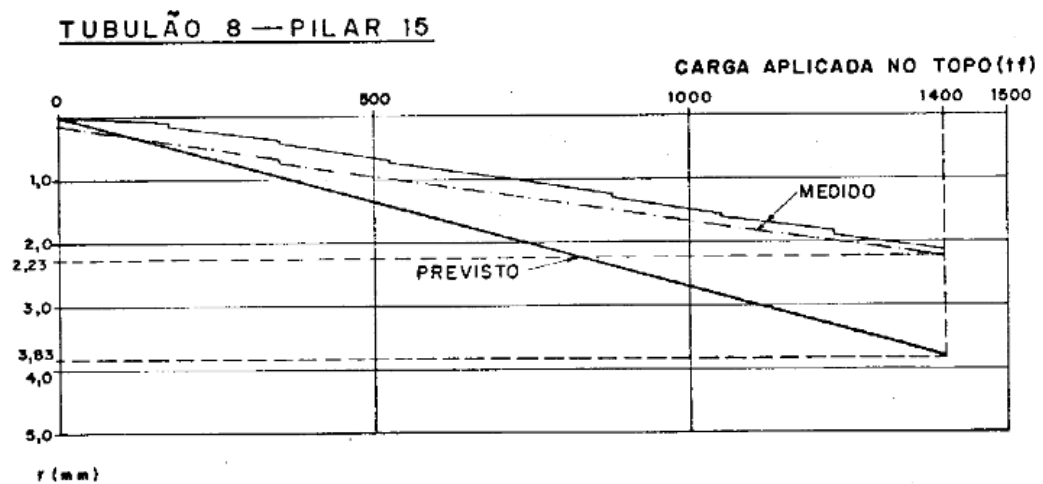




Figura 9. 2: Carga (tf) x deslocamento (mm)

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 28/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

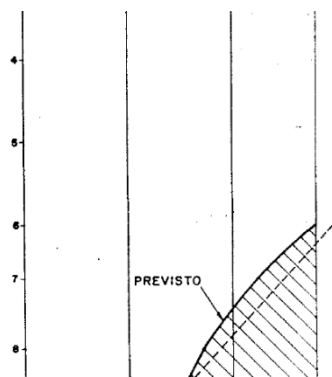


Figura 9. 3: Transferência de esforços ao longo do fuste – valores medidos x estimados

Os gráficos acima mostram que o carregamento imposto não chegou a mobilizar a ponta da estaca, o que caracteriza que o ensaio não foi conduzido até a ruptura geotécnica da fundação. Portanto, a estaca ainda guarda uma reserva de carga que poderia ser absorvida tanto pelo fuste como pela ponta da estaca.



Dada as características da curva carga x recalque, a estimativa desta reserva é pouco precisa, portanto, nesta situação, pautado pela prudência, consideraremos que as resistências laterais foram completamente mobilizadas.

Com isso, as tensões laterais de ruptura medidas ficam:

$$\sigma_{lr} = 1400 / (150 * 3,14 * 950);$$

$$\sigma_{lr} = 0,0031 \text{ tf/cm}^2 \Rightarrow 3,1 \text{ kgf/cm}^2 = 0,3 \text{ MPa};$$

Considerando este resultado como sendo uma prova de carga executada na fase de elaboração ou adequação de projeto, a NBR 6122 – item 6.2.1.2.2 permite a consideração de fator de segurança de 1,6. Sendo assim a tensão lateral admissível seria:



		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 29/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

$$\sigma_{I adm 3} = 0,3/1,6 = 0,187\text{MPa}$$

Tensões de contato estaca-solo adotadas

Critério	Tensão adm. Ponta	Tensão adm. Lateral
	$\sigma_{p adm}$ (MPa)	$\sigma_{l adm}$ (MPa)
Definida com base na característica da rocha local.	2,50	0,25
Definida com base na resistência do concreto da estaca	6,70	0,65
Tensão verificada da prova de carga estática da ponte existente	-	0,18
Valores adotados	2,50	0,25

Tabela 9. 6: Resumo dos valores obtidos

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	30/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

Esforços de tração

A capacidade de carga de estaca à tração será verificada considerando o arrancamento da mesma e mais um “cone” de rocha a ela aderido. O cone de rocha será admitido com ângulo de abertura de 25°, conforme ilustra a figura abaixo:

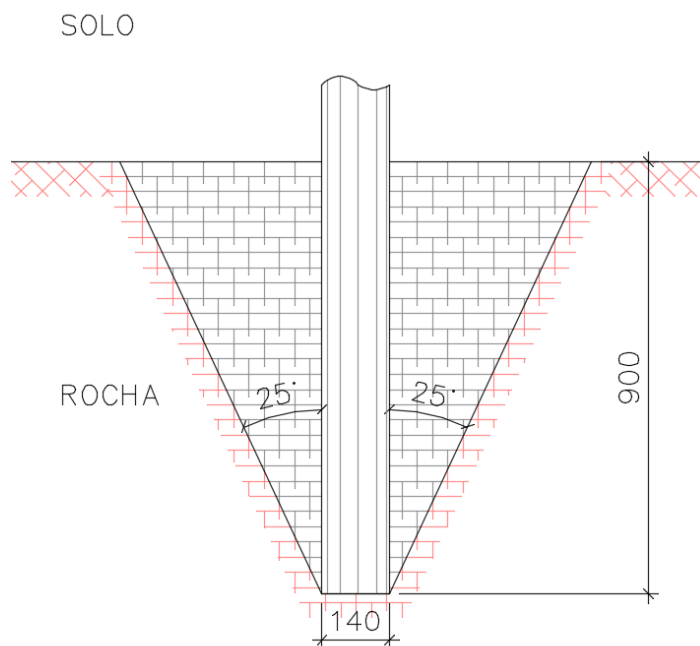






Figura 9. 4: Cone de arrancamento.

A estaca e a rocha serão consideradas o mesmo material, ou seja, com peso específico de 2,65 tf/m³; peso específico submerso de 1,65 tf/m³.

Será admitido um fator de segurança de **1,1** para cálculo de minoração do peso o volume arrancado. Isso porque a variável que envolve esta verificação (peso da rocha / peso do concreto) são relativamente bem conhecidos.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 31/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Em face dos elevados valores de tração que as estacas ficarão submetidas, os comprimentos de embutimento em rocha também serão grandes, de modo que o trecho de estaca acima do topo rochoso terá contribuição pouco significativa para a resistir a tração, portanto será também será desprezado.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 32/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Esforços horizontais:

O dimensionamento estrutural das estacas às solicitações geradas pelos esforços horizontais bem como o comportamento deformacional do elemento de fundação junto ao maciço de fundação deverá ser verificado considerando os coeficientes de reação horizontal fornecidos nos itens que se seguem.

Coefficiente de reação horizontal “Kh” na Rocha



Uma forma de se determinar os valores de k_h é retro analisar as provas de carga horizontais feitas em estacas da ponte existente. Os resultados desses ensaios se encontram no **RL-2530-11-6000**, que foi emitido pela Geotécnica.

Neste relatório se dispões de duas provas, sendo uma feita nos tubulões T3/T4 do pilar P22 e a outra nos tubulões T7/T8 do pilar P15.

Na prova de carga dos elementos T.3 e T.4 (\varnothing 150cm) foram medidos deslocamentos de 0,3mm no topo da rocha. A carga horizontal aplicada foi de 15 tf e o braço de alavanca foi de 11.4m, o que resultou num momento nesse ponto de “engaste” de 171 tf.m.

Retro analisando com a imposição esse deslocamento chega-se a cerca de 400.000 tf/m³ ou 400 kgf/cm³.

H:	15,00	tf	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Resultados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Desl:</td> <td>0,3 mm</td> </tr> <tr> <td>Giro:</td> <td>0,03 °</td> </tr> <tr> <td>σ max:</td> <td>135,20 tf/m²</td> </tr> <tr> <td>Mmax:</td> <td>171,00 tf.m</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>2,49E-01 m⁴</td> </tr> <tr> <td>W:</td> <td>3,31E-01 m³</td> </tr> <tr> <td>α:</td> <td>7 tf/m²</td> </tr> <tr> <td>K:</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	Resultados		Desl:	0,3 mm	Giro:	0,03 °	σ max:	135,20 tf/m ²	Mmax:	171,00 tf.m	I:	2,49E-01 m ⁴	W:	3,31E-01 m ³	α :	7 tf/m ²	K:	20
Resultados																					
Desl:	0,3 mm																				
Giro:	0,03 °																				
σ max:	135,20 tf/m ²																				
Mmax:	171,00 tf.m																				
I:	2,49E-01 m ⁴																				
W:	3,31E-01 m ³																				
α :	7 tf/m ²																				
K:	20																				
M:	171	tf.m																			
d:	1,5	m																			
I:	2,49,E-01	m ⁴																			
W:	3,31,E-01	m ³																			
E:	2100000	tf/m ²																			
SPT:	5000																				
Cód. Solo:	3007																				
Kh:	389666,67	tf/m ³																			
Compr:	10	m																			
L ou E:	L																				

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 33/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Na outra prova de carga executada nos tubulões T.7 e T.8. Foi aplicada uma carga de 20 tf o que resultou um momento de 167 tf.m e um deslocamento de 0,26mm no ponto de “engaste” no filito.

H:	20.00	tf	Resultados	
M:	167	tf.m	Desl:	0.26 mm
d:	1.5	m	Giro:	0.02 °
I:	2.49.E-01	m ⁴	σ max:	180.55 tf/m ²
W:	3.31.E-01	m ³	Mmax:	167.00 tf.m
E:	2100000	tf/m ²	I:	2.49E-01 m ⁴
SPT:	9000		W:	3.31E-01 m ³
Cód. Solo:	3007		α:	7 tf/m ²
Kh:	701400.00	tf/m ³	K:	20
Compr:	10	m		
L ou E:	L			

A retro análise resultou no valor de 700.000tf/m³ ou 700 kgf/cm³.

Outra forma de se determinar os valores de k_h é através do emprego do módulo de elasticidade do maciço que foi determinado através de ensaios de laboratório em amostras cúbicas (10cm x 10cm x 10cm) extraídas dos tubulões que estavam sendo escavados por desmonte a fogo.



No relatório **RL-2530-11-6000** são apresentados e analisados resultados de inúmeros ensaios de laboratório para determinação do módulo de elasticidade da rocha, tendo-se chegado a um valor médio de 65 000 kgf/cm².

Conforme Broms (1964) o coeficiente horizontal do embutimento (K_h) de uma estaca é dado pela seguinte expressão

$$k_h = 1,67 \cdot \frac{E}{\phi}$$

Onde “E” é o módulo de deformabilidade (elasticidade) do maciço e φ o diâmetro da estaca.

Dessa foram se tem:

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 34/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

3. 775 kgf/cm³ para as estacas de 140 cm de diâmetro;
4. 900 kgf/cm³ para as de 120cm e
5. 1350 kgf/cm³ para as de 80cm.

Com base nesses cálculos, recomendamos que as verificações sejam feitas considerando os valores acima podendo ainda ser avaliado K_{hs} com valores mínimos 300 a 450 kgf/cm³ de modo a se obter uma envoltória de esforços / deslocamentos das fundações.

É necessário observar ainda que a rocha suportará valores altos de tensões admissíveis, dessa foram, mesmo com esforços elevados, as deformações serão baixas de modo que as características geotécnicas do maciço não condicionarão as verificações dessas estacas.

Dessa forma os valores de K_h fornecidos servirão apenas para modelar uma condição de “**semi-engstamento**” do fuste e para a obtenção dos momentos característicos da estaca.

Coeficiente de reação horizontal “K_h” no solo



De início cabe dizer que não é recomendável considerar o confinamento do solo nas estacas que ficam no leito do rio. Isso porque com a implantação da obra poderá ocorrer a erosão desse solo. Por outro lado, esse confinamento pode ser considerado na área aluvionar da margem direita (São Felix), que fica entre os pilares P.1 e P.11, e também na margem esquerda (Marabá) ente os pilares P.40 e P.41.

A definição de k_h será feita aplicando a correlação abaixo:

$$K_h = 0,83 \cdot \frac{E}{\phi}$$

Para o módulo de elasticidade do solo “E” será considerado a formulação proposta por Teixeira (Teixeira, A.H. 2016), sendo:

$$E = \alpha \cdot K \cdot N$$

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 35/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Solo	α
Areia	3
Silte	5
Argila	7

Tabela 9. 7: Parâmetro α Teixeira, A.H. 2016

Solo	K [tf/m ²]
Areia com pedregulho	110
Areia	90
Areia <u>siltosa</u>	70
Areia argilosa	55
Silte arenoso	45
Silte	35
Argila arenosa	30
Silte argiloso	25
Argila <u>siltosa</u>	20



Tabela 9. 8: Parâmetro k -Teixeira, A.H. 2016

Cabe observar que os valores de k_h , obtidos conforme formulação, são diretamente proporcionais ao “E” do solo, que normalmente é estimado com base em correlações semi-empíricas ou dados bibliográficos. Desta maneira, este escritório considera adequado utilizar um fator de minoração de 2 para o valor de k_h calculado pela fórmula de Broms (1964), o que resulta na correlação de k_h proposta no início deste item.

Feitas as considerações acima, serão especificados os valores de k_h em função das características do solo.

Na **margem direita** o solo é argiloso e tem N_{spt} médios de 7 golpes. Neste lado deverão ser considerados os seguintes valores de k_h :

1. 0.6 kgf/cm³ para as estacas de 140 cm;
2. 0.7 kgf/cm³ para as de 120cm.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 36/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Neste caso, as estacas deverão ser verificadas em função de um deslocamento máximo admissível para a estrutura, que usualmente é inferior a 5mm.

Na **margem esquerda** o solo é siltoso e tem valor médio de N_{spt} de 15 golpes. Os valores de k_h ficam:

1. 1,5 kgf/cm³ para as estacas de 140 cm e
2. 1.7 kgf/cm³ para as de 120cm.

Como as estacas penetrarão em rocha, é preciso fazer alguns cálculos para verificar se o confinamento no solo é ou não importante, uma vez que os valores de k_h na rocha são cerca de 3 ordens de grandeza maiores do que os k_h no solo.

Há ainda uma questão que se refere a buscar uma certa uniformização de armaduras já que não parece adequado que se tenha uma variação de armadura nas estacas de pilar a pilar.

CARGAS ATUANTES

Conforme esforços fornecidos e indicados na memória de cálculo **MC-2530KF-C-50026**, as estacas das pontes Ferroviária, Rodoviária e dos dolphins ficarão submetidas às cargas de trabalho indicadas abaixo.

	Carga de trabalho de Compressão (tf)	Carga de trabalho de Tração (tf)	Esforços horizontais (tf)
Ponte Ferroviária	$860 < Q_{trab.} < 1200$	$0 < Q_{trab} < 260$	30
Ponte Rodoviária	$600 < Q_{trab.} < 860$	-	18
Dolphins	330	8	70



		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 37/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Tabela 9. 9: Cargas de trabalho previstas nas estacas

COMPRIMENTOS DE EMBUTIMENTO

Dada a magnitude dos esforços e a pouca espessura do horizonte de solo, todas as estacas serão executadas com embutimento em rocha.

Em alguns pontos, a perfuração das estacas será direta em rocha ou ocorrerá uma delgada camada de solo que não permitirá embutimento da camina metálica. Isso ocorrerá nas estacas executadas dentro do rio em pontos onde o leito foi erodido e o rio corre sobre rocha. Nestes casos será necessário prever a execução de “sulco anelar” com profundidade mínima de 1 metros para o embutimento da camisa na rocha.



Já nas estacas próximas às margens, as perfurações terão que transpassar uma camada de solo para depois iniciar penetração na rocha. Nesta situação, independente do comprimento do trecho em solo, as cargas serão integralmente absorvidas pelo comprimento da estaca na rocha.

Os comprimentos em rocha serão verificados segundo 3 critérios, sendo:

Critérios		Descrição
Critério 1	$Q_{adm} \leq (RL_{rupt} + RP_{rupt}) / 2$	Preconizado pela NBR: 6122
Critério 2 *	$1,25 \times Q_{adm} \leq RL_{rupt}$	Adaptação do que será exigido na próxima revisão da NBR: 6122
Critério 3	$L_{rocha} \leq 4 \phi_{estaca}$	Critério prático descrito proposto por Cabral, D.A.; Antunes, W.R. (2000)

Tabela 9. 10: Critérios para cálculo do comprimento de embutimento em rocha

*Observação:

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040		
		INTERNO			
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA	38/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV.	1

A versão atual da NBR 6122 exige $Q_{adm}/1,25 \leq RL_{rupt}$. Contudo, em função de histórico de obras com problemas gerados pela falta de mobilização de RP (resistência de ponta) para baixas deformações, a nova revisão da NBR 6122, já em consulta pública, está alterando isto para $Q_{adm} \leq RL_{rupt}$. Em obras especiais, estes valores muitas vezes são tomados com cutela e se exigem critérios ainda mais rígidos chegando a $1,30 \times Q_{adm} \leq RL_{rupt}$; portanto na obra em questão se decidiu por verificar $1,25 \times Q_{adm} \leq RL_{rupt}$.

Os cálculos de embutimento, feitos com base nos critérios acima, estão demonstrados nos itens que se seguem e as comprimentos resultantes das estacas estão indicados nos projetos emitidos pela EGT Engenharia, sendo: **2530KF-C-50169** (Panta e Perfil - Ponte Rodoviária) e **2530KF-C-50170** (Panta e Perfil - Ponte Ferroviária)

Ponte ferroviária



As estacas serão verificadas para carga de trabalho até 1200 tf de compressão e 260 tf de tração. Considerando estacas com diâmetro de 140cm teremos:

3. Verificação do embutimento em rocha para cargas de compressão

ESTACA	RP adm	RL adm	critério 1	critério 2	critério 3
			$(RPrup+RLrup)/2$	$RL_{rupt} > 1,25 Q_{adm}$	$4 * \emptyset$
			Lrocha 1	Lrocha 2	Lrocha 3
\emptyset (cm)	tf	tf/m	m	m	m
140	384,65	109,9	7,42	6,82	5,60

4. Verificação do embutimento em rocha para carga de tração



ESTACA	Lrocha esp.	Volume do cone	Wk do cone	Wd do cone	Qtração adm
\emptyset (cm)	m	m ³	tf	tf	tf
140	9,0	262,54	433,19	393,81	281

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 39/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

W_k do cone = peso do cone característico

W_d do cone = peso do cone de cálculo

L_{rocha} adotado = 9m.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040		
		INTERNO			
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA	40/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV.	1

Ponte rodoviária

As estacas serão verificadas para carga de trabalho de até 860 tf de compressão. Esforços de tração não ocorrerão. O comprimento em rocha considerando estacas escavadas com diâmetro de 120cm, fica:

ESTACA	RP adm	RL adm	critério 1	critério 2	critério 3	Lrocha adotado
			(RPrup+RLrup)/2	RL rupt >1,25 Qcomp.	4 * Ø	
Ø(cm)	tf	tf/m	Lrocha 1	Lrocha 2	Lrocha 3	
120	282,6	94,2	6,13	5,71	4,80	6,5

Dolphins



As estacas serão verificadas para carga de trabalho de até 330 tf de compressão. Os esforços de tração serão de 8 tf e não condicionarão os cálculos. O comprimento de embutimento estacas com diâmetro de 80cm fica:

ESTACA	RP adm	RL adm	critério 1	critério 2	critério 3	Lrocha adotado
			(RPrup+RLrup)/2	RL rupt >1,25 Qcomp.	4 * Ø	
Ø(cm)	tf	tf/m	Lrocha 1	Lrocha 2	Lrocha 3	m
80	125,6	62,8	3,25	3,28	3,20	5,5

Neste caso, por se uma estaca prevista para absorver considerável esforço horizontal, decidiu-se por aumentar 2 metros além do comprimento de cálculo para garantir um melhor embutimento do elemento de fundação.

Para dimensionar a estrutura da estaca para suportar os esforços horizontais de 53tf, deverão ser considerados coeficientes de reação horizontal (k_h) que simularão o comportamento deformacional do maciço.

Deve-se atentar ao fato de que nas sondagens próximas aos dolphins são observadas diferenças significativas no perfil de subsolo, sendo que no dolphin do pilar P22 se tem depósitos aluvionares compostos por areia finas mal graduadas com espessura da ordem de 5 metros e abaixo delas segue o topo rochoso; já no dolphin do pilar P21 esta camada é delgada e quase inexistente.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 41/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Embora exista tamanha diferença, deverá ser desprezado o efeito de confinamento que solo aluvionar possa fornecer. Isso porque, como já foi dito anteriormente, este material está sujeito a processos erosivos e com o passar do tempo ele poderá deixar de existir, dessa forma, deverá ser considerado apenas o confinamento gerado pelo material rochoso. Para tanto, o coeficiente de reação horizontal na rocha será:

$$k_h = 1.350.000 \text{ tf/m}^3 \Rightarrow 1350 \text{ kgf/cm}^3$$

PROVAS DE CARGA



De acordo com a NBR-6122, e tendo a obra mais que 300 e menos que 400 estacas, será necessário executar provas de carga.

Poderão ser feitas 4 provas de carga estáticas (PCE) ou então 1 PCE e mais 5 ensaios de carga dinâmicos (PDA – pile driving analysis) para cada PCE substituída. Isso gerará as alternativas de plano de provas de carga da tabela abaixo:

Alternativa	PCE	PDA
1	4	-
2	3	5
3	2	10
4	1	15

Tabela 9. 11: Alternativas de plano PCE/PDA para atender NBR 6122

A questão de qual alternativa adotar já foi extensamente discutida com a equipe técnica da Vale, ficando estabelecido executar 2 PCE e 10 PDA.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 42/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

As 2 PCE serão feitas em estacas de sacrificio, ou seja, que não fazem parte das fundações das pontes, e terão 120cm de diâmetro. As estacas prova serão executadas no meio de 4 outras estacas que compõem a fundação do pilar da ponte rodoviária, as quais servirão de reação. A figura a seguir ilustra o esquema de PCE proposto:

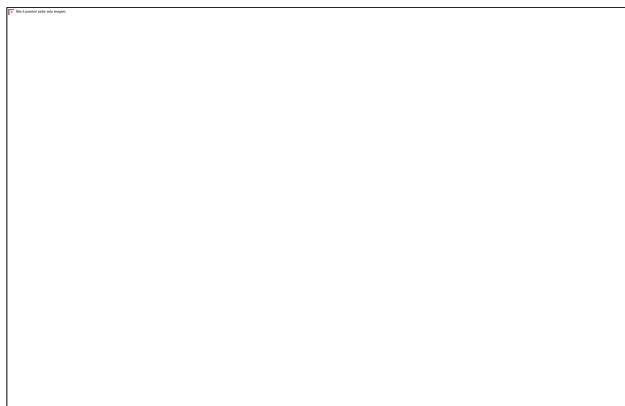




Figura 9. 5: Esquema de PCE proposto

A viga de travamento entre os dois blocos terá que ser dimensionada para suportar a carga a ser aplicada no ensaio.

Os ensaios serão feitos em estacas executadas na margem direita e em pilares onde a espessura de solo é pequena, pois o que se pretende ensaiar é o comportamento da estaca na rocha. Essa condição ocorre nos P.3, P.4 e P.11.

A carga a ser aplicada no ensaio será de duas vezes a carga de trabalho, ou seja, deverá chegar a 1720tf.

As estacas submetidas ao ensaio serão PROPOSITADAMENTE executadas com embutimento em rocha menor que o previsto no item 12. Em vez de executá-las com embutimento de 6.5m elas penetrarão somente 4.5m na rocha.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 43/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

As estacas de reação deverão ter comprimento em rocha de 11m e deverão ser armadas para suportar 430 tf de tração.

A finalidade destas PCEs será de verificar as resistências de ponta e lateral da estaca na rocha, o que permitirá aferir adequadamente os parâmetros de cálculo empregados neste relatório.

Para que isso seja possível, as estacas ensaiadas deverão ser levadas até a ruptura geotécnica, ou próximo disso, dessa forma, está se propondo a execução do ensaio em estacas deliberadamente mais curtas.

Caso os parâmetros empregados se mostrem conservadores, os comprimentos de embutimento poderão ser reduzidos, o que gerará considerável economia de valores e de prazos para a obra.



Por outro lado, se os resultados dos ensaios forem “MUITO BONS” e as estacas não atingirem a ruptura geotécnica, se saberá que o elemento ensaiado está com fator de segurança maior que 2. Nessa situação não se sabe de quanto o embutimento em rocha poderia ser diminuído para que o fator de segurança ficasse ajustado a um valor mais adequado. Isso, de certa forma, ocorreu com as provas de carga executadas na ponte existente, nas quais a ponta de estaca praticamente não foi mobilizada.

ACOMPANHAMENTO DA EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES

A execução de todas as estacas deverá ser acompanhada por engenheiro geotécnico ou geólogo, ambos com experiência nesse tipo de obra para verificar se há, em algum caso, necessidade de se aumentar os comprimentos de escavação em rocha.

Deve-se observar que, não há sentido em se variar os comprimentos de embutimento no filito em função dos resultados das sondagens.

O fato de uma determinada sondagem indicar uma passagem de rocha mais fraturada ou mais alterada não significa que todas as estacas dessa desses pilares (são 8 estacas ao todo) também encontrarão esse material, pois as passagens da rocha menos competente são decorrentes de fraturas que são majoritariamente verticais

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 44/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

ou sub-verticais, como indica as sondagens, e fraturas horizontais ou sub-horizontais são a minoria. Em outras palavras, apesar da foliação do filito ser horizontal ou sub-horizontal, isso não caracteriza camadas horizontais menos resistentes.



Então, como reconhecer se uma estaca está em uma área na qual o maciço é menos resistente? Isso só poderá ser feito através do acompanhamento da perfuração por engenheiro experiente ou geólogo que possa avaliar o material escavado junto com o operador da perfuratriz, e assim aferir se a maior ou menor dificuldade de corte da rocha são condizentes com o material descrito nas sondagens rotativas.

A resistência a perfuração poderá ser julgada em função da velocidade da perfuração. Esta, por sua vez, poderá depender não só da qualidade da rocha, mas também do estado dos bits da ferramenta de corte.

Outro aspecto que deve ser levado em conta é que, às vezes, ocorre uma passagem com rocha muito fraturada, porém muito coesa, o que pode implicar em velocidade de perfuração tão baixa quanto se a rocha fosse sã, não fraturada.

Daí a necessidade de se ter uma equipe de profissional experiente (operador + engenheiro ou geólogo experientes) que possa ponderar todas estas variáveis.

Ao longo do tempo, e sempre comparando com os resultados das sondagens com o material extraído, esse profissional irá desenvolvendo sensibilidade para julgar qual é a “qualidade” da rocha que está sendo perfurada.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 45/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

TERRAPLENAGEM

Da topografia local

Lado de São Félix:

No lado de São Félix a topografia é relativamente plana e situada em cotas mais baixas quando comparada ao lado Marabá. Aqui os níveis altimétricos variam entre 80,00m a 97,00m o que confere ao terreno uma inclinação média inferior a 1%.

Com isso, a duplicação da ferrovia neste trecho demandará por aterros volumosos e extensos, que terão da ordem de 23 metros de altura na região dos encontros e que vão ficando gradualmente mais baixos conforme se caminha em direção ao início do trecho de duplicação, nas proximidades do quilômetro 721+730.

Há que se observar ainda que ao longo do trecho ocupado pela ferrovia existem várias lagoas e que precisarão ser aterradas. Estas lagoas não são de formação natural, algumas delas desenvolveram pelo represamento d'água causado pelos aterros da via existente enquanto outras foram geradas pela escavação local do terreno.

Outra questão a ser observada é que possivelmente parte da área já foi superficialmente explorada como área de empréstimo. Esta exploração pode ter ocorrido pelos proprietários locais ou pela própria Vale quando da implantação da via existente.

Tal suposição justifica as inúmeras lagoas formadas e o desnível de cerca de 4 metros que existe ao longo da divisa de uma propriedade situada no km 723+800. A foto a seguir, retirada do Google Earth, mostra isso.



		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 46/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1



Figura 10. 1: Lagoas e área já exploradas – lado de São Félix



Lado Marabá:

No lado de Marabá a topografia local é significativamente mais acidentada.

Junto às margens do Rio os níveis altimétricos estão próximos aos 75 metros e sobem rapidamente para 95 metros na região dos encontros das pontes, depois, conforme se caminha para o final da duplicação, o terrapleno continua acidentado apresentando formações de morros e talvegues que geram desníveis da ordem de 24 metros.

Em função destas características, a duplicação da via exigirá volumosos aterros na região dos vales e alguns cortes de pequena magnitude na região de morros.

Do lançamento dos taludes

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 47/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Taludes de aterros:

Dada as características do subsolo descritas no item 8.1, onde não foram observados substratos moles ou inconsolidados que justifiquem a necessidade de taludes mais brandos e bermas de equilíbrio, o lançamento dos taludes de aterro poderá ser feito com inclinações usuais, que são de 1V:1,50H e com alturas de no máximo 8 metros.

Para desníveis maiores que 8 metros deverão ser combinados dois ou mais lances de taludes separados por bermas com largura de 4 metros.

As necessidades adicionais de estabilização geradas pela deficiência do solo superficial de fundação, deverão ser tratadas com substituição do solo local por aterro compactado, conforme será detalhado nos itens que se seguem.



Taludes de Corte

Os taludes de corte serão significativamente baixos se comparados aos taludes de aterro. Aqui também não são previstas situações especiais de estabilização, podendo ser implantados taludes com inclinação de 1V:1H para desníveis de até 8 metros.

Estudo de estabilidade dos taludes

Método de cálculo:

As análises de estabilidades foram feitas considerando o método de equilíbrio limite, admitindo-se as formulações de Bishop e Spencer aplicadas a superfícies circulares e não circulares. Os cálculos foram feitos empregando o programa Slide 6.0, que é específico para análise de estabilidade de taludes e foi desenvolvido pela RocScience

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 48/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Primeiramente foram avaliadas as superfícies circulares devido a rapidez de processamento, depois, foram avaliadas a superfície não circular que na maioria dos casos são mais críticas, visto que este tipo de análise permiti ao *Software* buscar superfícies de geometria mais adaptadas ao subsolo o que favorece a obtenção de fatores de segurança mais baixos.

É necessário destacar também que, em função do subsolo não apresentar camadas delgadas de solo orgânicos moles que condicionam a posição e a geometria da superfície crítica, as superfícies circulares e não circulares terão na maioria dos casos aspectos semelhantes.

Como procedimento de cálculo, as seções serão avaliadas na condição natural, ou seja, sem a necessidade de se promover a troca de solo. Caso o Fator de segurança (FS) se mostre inferior a 1,5 será admitida a troca de solo e a seção será reprocessada de modo a verificar se foi atingido FS maior ou igual a 1,5.

Sobrecargas de veículos:

Ferrovária:

Peso da composição:



Peso por eixo do vagão tipo GDT – 40tf

Peso total considerando 4 eixos de dois trucks consecutivos = 160tf

Área a de distribuição das cargas:

A a área de distribuição do peso dos trucks será distribuído em uma faixa da mesma largura do dormente, e não será admito duas faixas distintas e mais estreitas para cada alinhamento de roda. Esta consideração não incorrerá em erros, visto que a sobrecarga total será integralmente considerada.

Para o Comprimento da área (L) será considerando 4 dormentes para frente e 4 para traz dos trucks consecutivos, ou seja:

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 49/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

$$L = D_{tr} + a_{tr} + 2 * (d * 3 + B_{dorm} / 2)$$

Onde:

D_{tr} = distância entre eixos de dois truques de dois vagões consecutivos;

a_{tr} = distância ente rodas do truque;

d = distância entre eixos de dormentes;

B_{dorm} = largura da base de apoio de dormente

$$L = 4,37 + 1,83 + (0,61 * 3 + 0,265 / 2) * 2 = 10,125m$$

$$\text{Área de distribuição} = 10,12 * 2,8 = 28,33 \text{ m}^2$$

$$\text{Sobercarga} = 160 / 28,33 = 5,65 \text{ tf/m}^2 - 56,5 \text{ KPA}$$



Apesar da massa de solo envolvida ser muito grande para ser mobilizada pela ação dinâmica do trem, indicamos a seguir a verificação a favor da segurança, com o mesmo fator de impacto utilizado para os cálculos da superestrutura. Dessa forma temos:

$$\text{Fator de impacto} = 1,43$$

$$\text{Sobercarga da ferrovia: } 5,65 * 1,43 = 8,07 \text{ tf/m}^2 \Rightarrow 81 \text{ kPa}$$

$$\text{Rodoviária} = 20 \text{ kN/m}^2$$

Parâmetros de resistência geotécnica

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 50/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Os parâmetros de resistência foram obtidos por meio de um conjunto de fórmulas de correlação baseadas nos valores de N_{spts} . Os valores obtidos foram ponderados em função de valores típicos de literatura e na experiência deste escritório em solos cuja formação, a granulometria, o valor de N_{spts} e são semelhantes.

As correlações empregadas encontram-se detalhadas abaixo:

Gibbs & Holtz (1975) $D_r = [N_{60} / (0,23 * \sigma_{vo} + 16)]^{1/2}$

Skempton (1986) $D_r = [N_{60} / (0,28 * \sigma_{vo} + 27)]^{1/2}$

Mello (1971) $\phi = \text{Atang} (0,712 / (1,49 - D_r))$

Hatanaka & Uchida (1996) $\phi = 20 + (15,4 * (N_1)_{60})^{1/2}$

Stroud (1989) $S_u = 4 a 6 * N_{60}$

Decourt (1989) $S_u = 12,5 * N$

Onde:



D_r : Densidade relativa

N : Valor de N_{spt}

N_{60} : Valor de N_{spt} corrigido para 60% da energia teórica de queda livre

$(N_1)_{60}$: Valor de N_{spt} corrigido energia e níveis de tensão

σ_{vo} : tensão efetiva

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 51/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Ø: ângulo de atrito

Su: coesão não drenada

Deve-se comentar que estas fórmulas são para solos atritivos e coesivos, dessa forma, para substratos de resistência mista (coesiva e atritiva), foi inicialmente calculado um material de resistência equivalente, depois estimou-se um dos parâmetros de resistência e calculou o parâmetro faltante pela equação de resistência de Mohr Columb.



Este procedimento serviu para determinar os parâmetros das camadas coluvionares e aluvionares menos competentes, que compreende os primeiros 4 a 8 metros do subsolo e que condicionam as estabilidades. Abaixo dela, o solo tem Nspts maiores que 20 golpes que não interferem os resultados das análises feitas.

Para a modelagem, a camada em questão será dividida em duas, sendo a primeira mais superficial, cujos valores de Nspts são da ordem de 3 a 6 golpes e tem de espessura variável de 2 a 4 metros, e a segunda, cujos Nspts ficam entre 7 e 13 golpes e a espessura avança até encontrar o material mais competente.

As planilhas que se segue demonstram as verificações feitas para a determinação dos parâmetros de resistência.

Aluvião / Coluvião silto argiloso/ Argilo siltoso - $3 < N < 6$

Prof	σ _{vo}	Nspt	N60	(N1)60	solos atritivos				solos coesivo			Su med.
					Dr	Dr	Ø	Ø	Ø med.	Su(Kpa)	Su	
2	34	3	3,3	6	0,372	0,301	31	29	30	37,5	13,2	25
3	41	3	3,3	5	0,360	0,293	31	29	30	37,5	13,2	25
4	48	3	3,3	5	0,349	0,286	31	29	30	37,5	13,2	25

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	52/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	



solos atrito-coesivo					
Estimativa 1			Estimativa 2		
Ângulo de atrito adotado	Resistência atritiva equivalente	Parcela coesiva calculada	Coesão adotada	Resistência aceosiva equivalente	Parcela atritiva calculada
Ø adot.	Kpa	kPa	C adot.	Kpa	Øadot
22	18	11	10	18	25
22	23	9	10	23	20
22	24	8	10	24	19
22	26	7	10	26	19

Valores adotados: $\phi=22^\circ$; $C=10\text{kPa}$

Aluvião / Coluvião silto argiloso/ Argilo siltoso - $7 < N < 13$

Prof	σ_{vo}	Nspt	N60	(N1)60	solos atritivos				solos coesivo			
					Gibbs & Holtz (1957)	Skempton (1986)	Mello (1971)	Hatanaka Uchida (1996)	Decourt	Stroud (1989)	média	
					Dr	Dr	ϕ	ϕ	$\phi_{med.}$	Su(Kpa)	Su	Su med.
4	52	7	7,7	11	0,525	0,430	34	33	33	87,5	30,8	59
5	60	7	7,7	10	0,508	0,419	34	32	33	87,5	30,8	59
6	68	7	7,7	9	0,493	0,409	33	32	33	87,5	30,8	59
7	76	7	7,7	9	0,480	0,399	33	32	32	87,5	30,8	59
8	84	7	7,7	8	0,467	0,390	33	31	32	87,5	30,8	59

solos atrito-coesivo					
Estimativa 1			Estimativa 2		
Ângulo de atrito adotado	Resistência atritiva equivalente	Parcela coesiva calculada	Coesão adotada	Resistência aceosiva equivalente	Parcela atritiva calculada
Ø adot.	Kpa	kPa	C adot.	Kpa	Øadot
27	49	18	15	49	30
27	51	17	15	51	28
27	54	15	15	54	27
27	56	13	15	56	26

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 53/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1



Valores adotados: $\phi=27^\circ$; $C=15\text{kPa}$

Para os parâmetros de resistência do solo do aterro foram adotados valores típicos de solo compactado de obras de infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, os quais normalmente variam entre $27^\circ < \phi < 30^\circ$ e $15\text{kPa} < C < 20\text{kPa}$. Além disso, os valores adotados foram verificados por meio de retroanálise, de modo que as superfícies de rupturas passando acima do pé do talude de aterro tivessem fator de segurança $FS_{\text{mínimo}}$ de 1,50.

Feito as considerações acima, os parâmetros adotados para o aterro foram:

$\phi=28$ e $C=15\text{KPa}$,

Por fim, As tabelas abaixo resumem os parâmetros de resistência empregados nos processamentos.


		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 54/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Solo	Nspt	Peso específico natural $\gamma_{nat.}$ (KN/m ³)	Peso específico saturado $\gamma_{sat.}$ (KN/m ³)	Coesão (KN/m ²)	Ângulo de Atrito
Aterro / Troca de solo	-	18	19	15	28°
Aluvião / Coluvião silto argiloso/ Argilo siltoso	3<N<6	17	18	10	22°
Aluvião / Coluvião silto argiloso/ Argilo siltoso	7<N<13	17	18	15	27°
Solo residual	N>20	20	20	30	30°

Tabela 11. 1:Parâmetros de resistência das camadas de solo

Para as análises de estabilidade desenvolvidas em regime de tensões totais foram considerados parâmetros de resistência reduzidos para a camada menos competente, sendo:

Verificação	Solo	Nspt	Peso específico natural $\gamma_{nat.}$ (KN/m ³)	Peso específico saturado $\gamma_{sat.}$ (KN/m ³)	Coesão (KN/m ²)	Ângulo de Atrito
1	Aluvião / Coluvião silto	3<N<6	17	18	5	22°

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS		
		INTERNO	L2040		
PROJETO DETALHADO			Nº VALE	PÁGINA	
FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361)			RL-2500KF-C-50002	55/101	
PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS			Nº EGT	REV.	
RELATÓRIO GEOTÉCNICO			VR19A-S1R-00-005	1	
RELATÓRIO TÉCNICO					

2	argiloso/ Argilo siltoso	17	18	25	5°
---	-----------------------------	----	----	----	----

Tabela 11. 2: Parâmetros de resistência empregado nas análises de estabilidade feitas em regime de tensões totais.

Na primeira verificação admitiu-se um solo de comportamento mais atritivo e na segunda um solo de comportamento mais coesivo, os esclarecimentos sobre estas considerações serão fornecidos no item 11.1.1.



Lado de São Félix

Considerações iniciais

Conforme descrito no item 8.1, no lado de São Felix ocorrem camadas superficiais de solos aluvionares pouco competentes que condicionarão as estabilidades dos taludes.

Nos trechos onde os aterros são altos, ou seja, maiores que 6 metros, a principal ação instabilizadora será gerada pelo peso próprio do aterro. Nestes casos, as análises de estabilidade serão feitas em regime de tensões efetivas e os problemas de estabilidade serão resolvidos por meio de substituição do solo local por aterro compactado.

Já nos trechos onde os aterros são baixos (menores que 6 metros) e pertencentes à ferrovia, a estabilidade dos taludes será fortemente condicionada pela sobrecarga imposta pela passagem do trem. Nesses casos, há que se considerar que o solo de fundação do aterro será submetido a uma mudança brusca do estado de tensões, de modo que as análises de estabilidade serão feitas em regime de tensões totais. Estas análises definirão os limites do trecho onde a troca de solo deverá ser realizada.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 56/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Deve-se observar que nos trechos de aterros baixos pertencentes à rodovia a análise descrita na do parágrafo anterior não será necessária, visto que neste caso a sobrecarga de veículos é significativamente menor.

Troca de solo:

A princípio, para que se possa fazer uma estimativa de projeto bem como alimentar a planilha de quantitativos da obra, será admitida uma espessura média de substituição de 2 metros.



Esta substituição será feita em toda a base do talude e deverá ser estender além do pé do mesmo em uma faixa cuja largura varia conforme a tabela a seguir:

Aterro composto por:	Largura da faixa de substituição além do pé do talude
3 lances de taludes	10 m
2 lances de taludes	5 m
1,5 lances de taludes	0 m

Tabela 11. 3: Largura da faixa de substituição além do pé do talude.

A tabela acima servirá para todo o trecho de implantação da Ferrovia e parte da implantação da interseção São Felix, isso porque no trecho onde a interseção São Félix se aproxima do aterro da ponte existe, a substituição não será feita em toda base do aterro, ela compreenderá uma faixa localizada de 15 metros de largura iniciando no pé do talude e indo em direção ao corpo do aterro conforme será detalhado no esquema apresentado no item 11.1.7.

Deve-se ressaltar ainda que, o volume de substituição obtidos com base no descrito acima, é uma estimativa feita a partir dos valores médios da espessura de aluvião observados nas sondagens. Sendo assim, correrão

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 57/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

áreas cuja substituição será mais profunda, podendo atingir de 3 a 4 metros, e áreas onde ela será mais rasa, bastando raspar o terreno.

Portanto, para fins executivos a estimativa de troca de solo apresentada deverá ser aferida com sondagens tipo “barra mina”, que servirá para mapear com mais precisão as áreas bem como as profundidades que a troca de solo será necessária.

Além disso, após a remoção do material prevista em projeto, a área deverá ser examinada por engenheiro geotécnico, que poderá solicitar um volume adicional de remoção ou poderá liberar da área para a execução dos aterros.



É necessário comentar ainda que em boa parte da área destacada no item 11.1.7 a substituição avançará além do nível do lençol freático, portanto há que se prever a necessidade de bombas de esgotamento e o lançamento de uma primeira camada de 20cm de brita 2 e sobre ela 20 cm de bica corrida, que servirá de transição para o prosseguimento do aterro.

Acima da bica corrida poderá ser empregado o mesmo material do corpo do aterro, devendo ser compactado com o mesmo grau de compactação, ou seja, 100% da energia de Proctor normal.

Nas áreas onde o lençol freático não for interceptado a camada de brita corrida poderá ser dispensada.

Trechos de lagoa:

A execução dos aterros sobre as áreas alagadas encontra-se detalhada na especificação de terraplanagem.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	58/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

Estaca 237+00

Esta análise é representativa dos taludes de aterro do trecho ferroviário considerados altos, situado ente os kms 723+880 e 725, e também para os aterros da interseção São Felix compostos por mais que 2 lances de taludes.

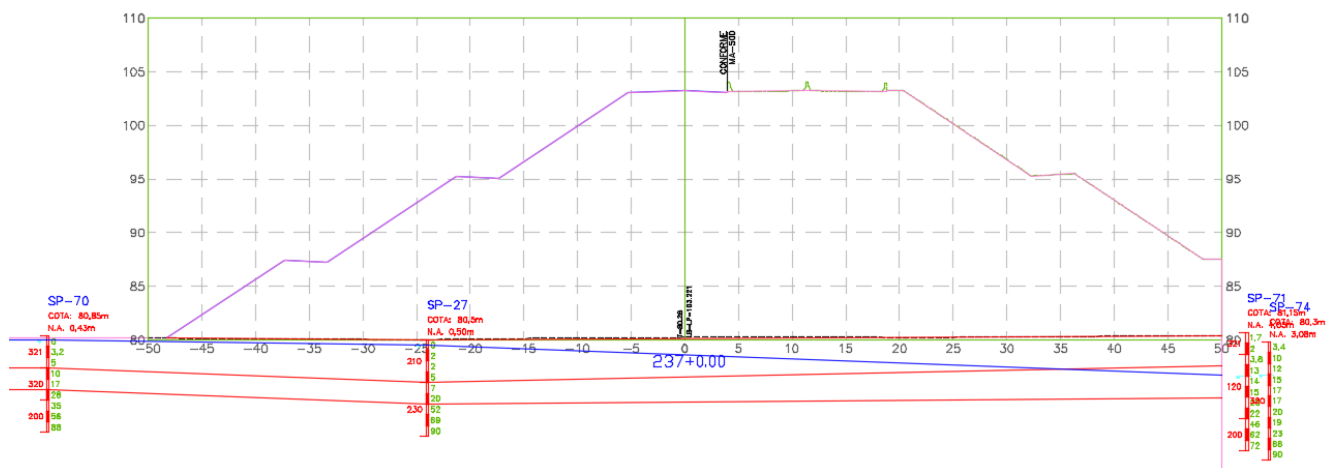




Figura 11. 1: Perfil geotécnico

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 59/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

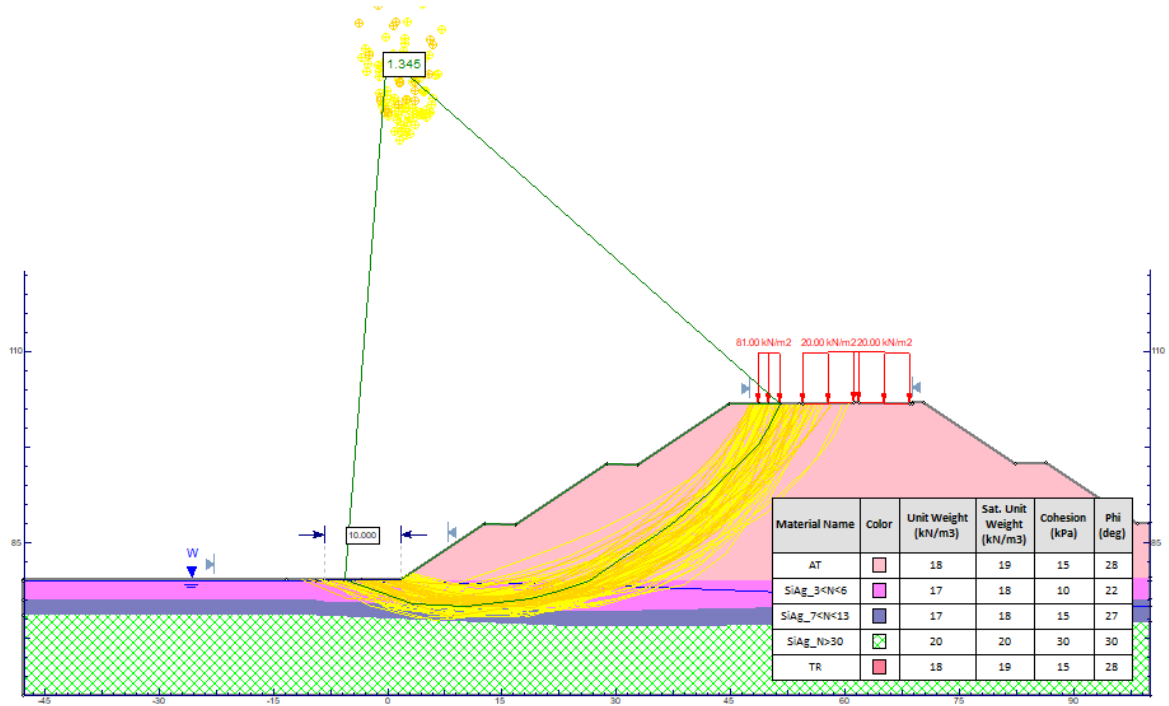




Figura 11. 2: Aterro implantado sem troca de solo – FS=1,34

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	60/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

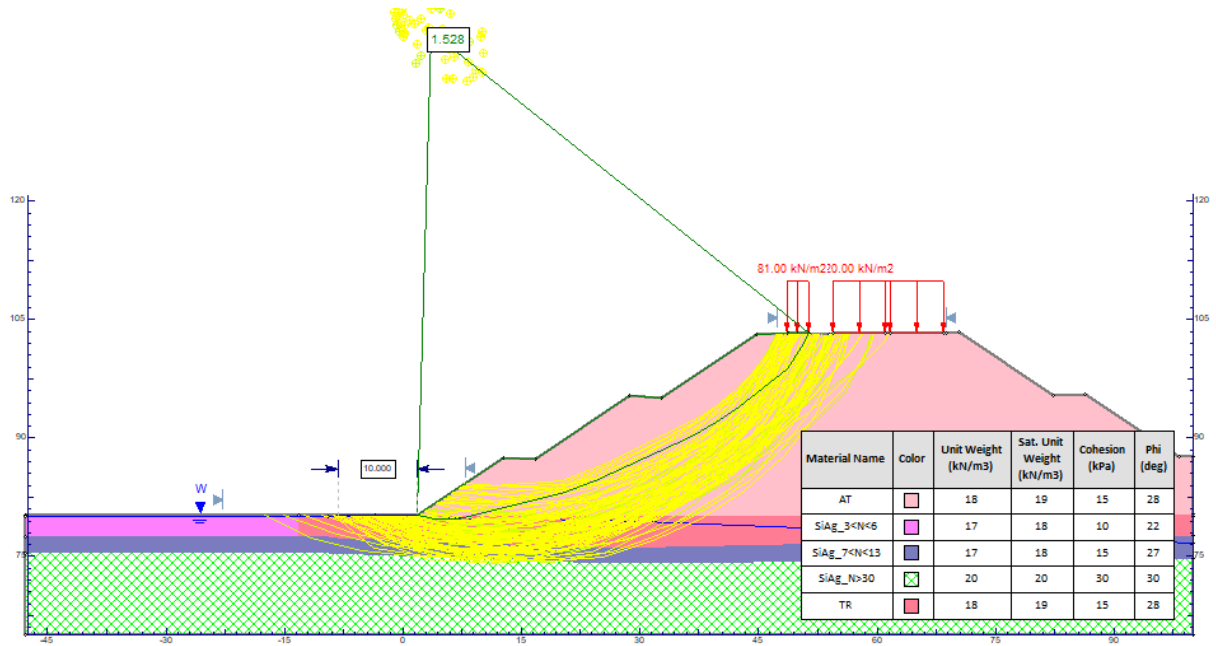




Figura 11. 3: Aterro implantado com troca de solo – FS=1,52

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	61/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

Estaca 283+00

Esta análise é representativa dos taludes de aterro do trecho ferroviário considerados baixos, situado entre os kms 723+880 e 723+420. Neste trecho as análises serão feitas com o regime de tensões totais.

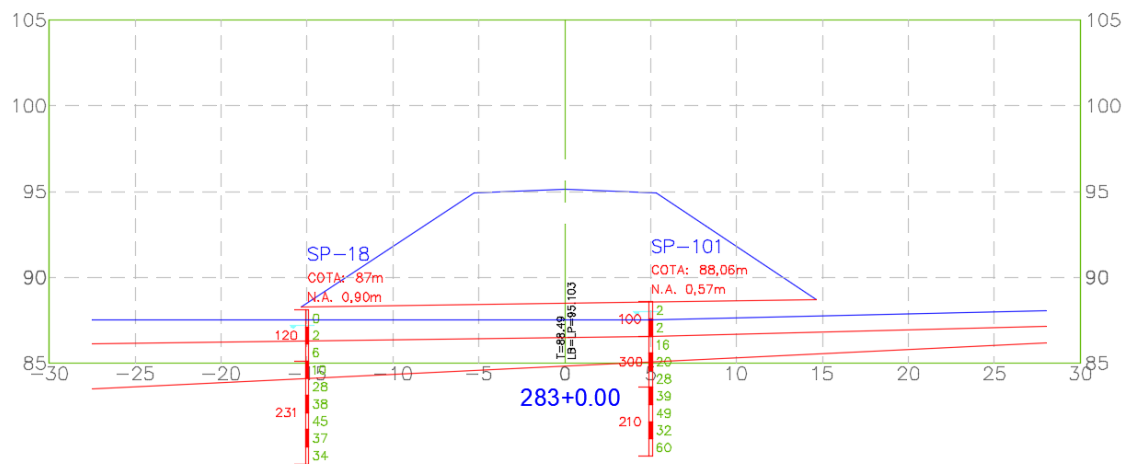




Figura 11. 4: Perfil geotécnico

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 62/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

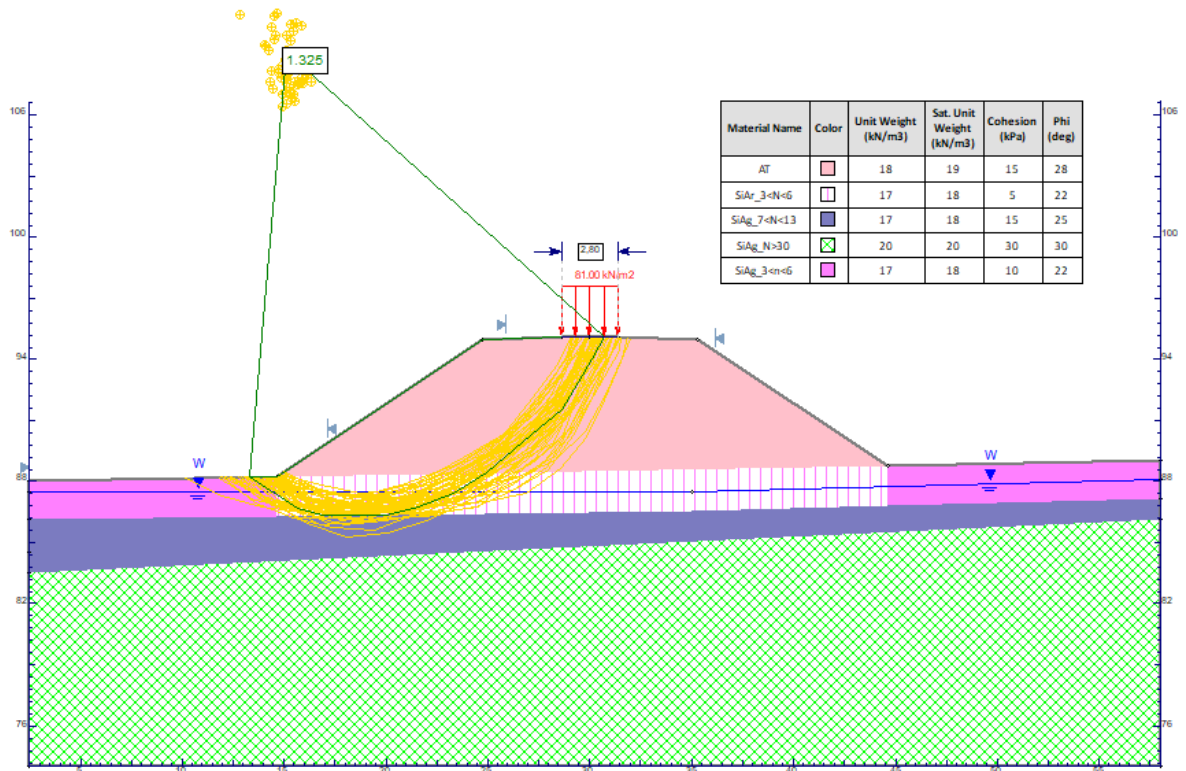




Figura 11. 5: Aterro implantado sem troca de solo – solo de fundação comportamento atritivo – FS=1,32 – prever troca de solo.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 63/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

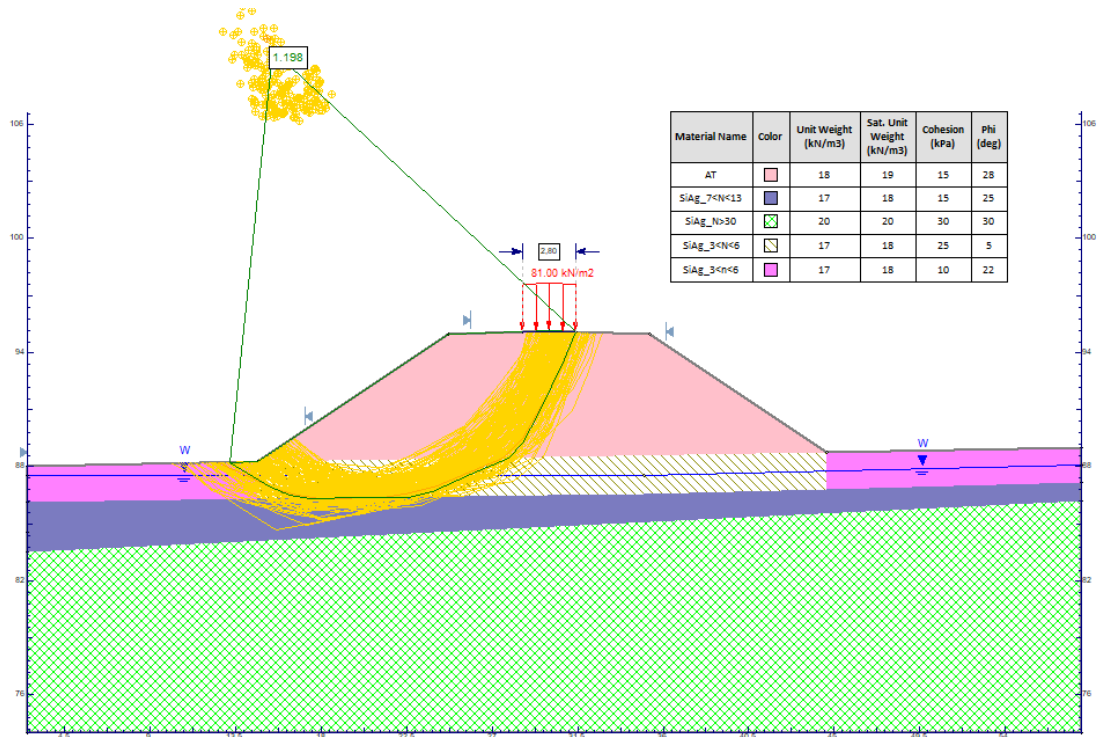




Figura 11. 6: Aterro implantado sem troca de solo – solo de fundação comportamento coesivo – FS=1,19– prever troca de solo.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 64/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

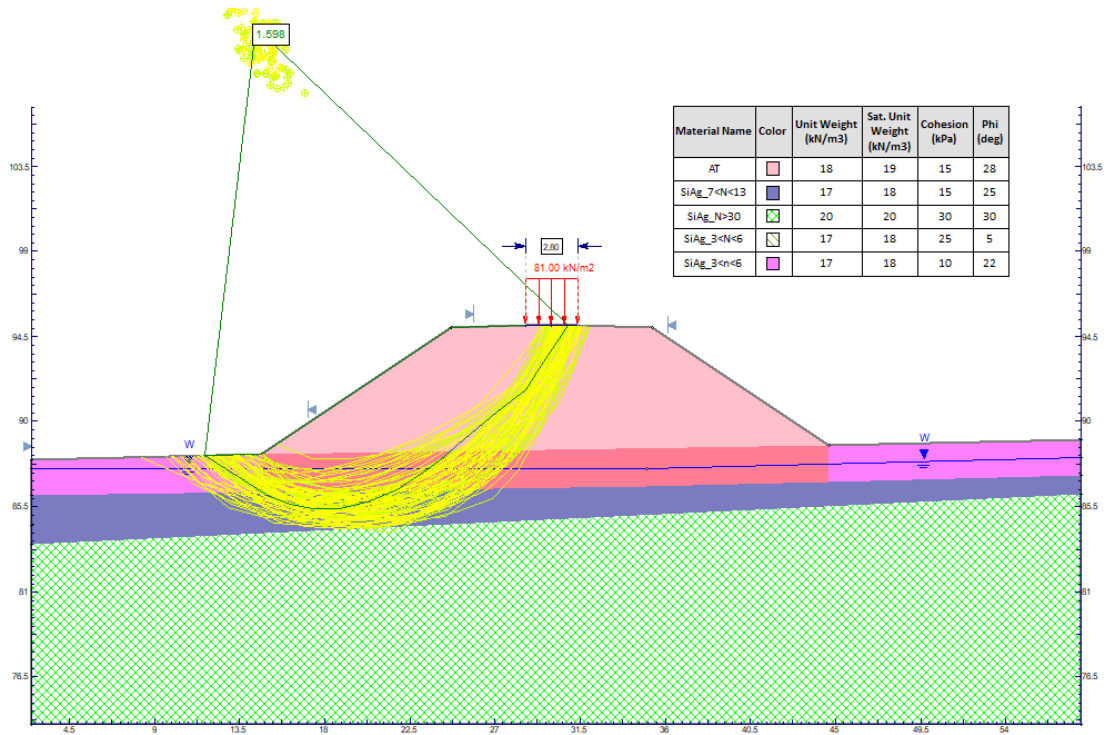




Figura 11. 7: Aterro implantado com troca de solo – FS=1,59

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		VR19A-S1R-00-005	65/101	
		Nº EGT	REV.	
			1	

Estaca 302+00

Esta análise é representativa dos taludes de aterro do trecho ferroviário considerados baixos, situado entre os kms 723+420 ao 721+720. Neste trecho as análises serão feitas com o regime de tensões totais.

O perfil de subsolo foi modelado adotando as mesmas sondagens da estaca anterior, ou seja, sondagens SP-18 e SP-101.

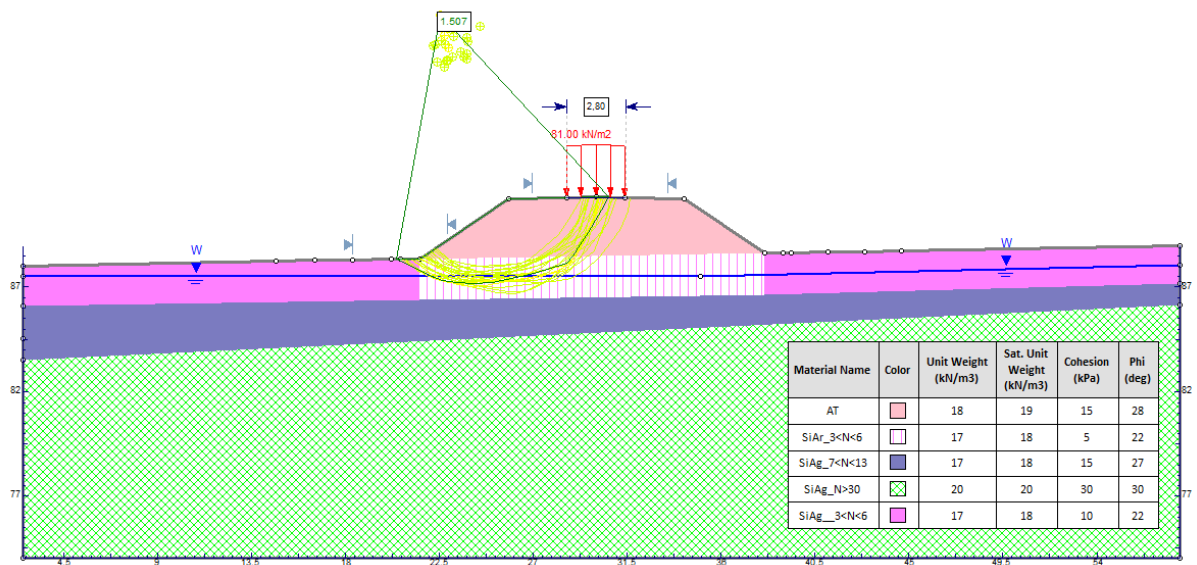




Figura 11. 8: Aterro implantado sem troca de solo – solo de fundação comportamento atritivo – FS=1,50

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 66/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

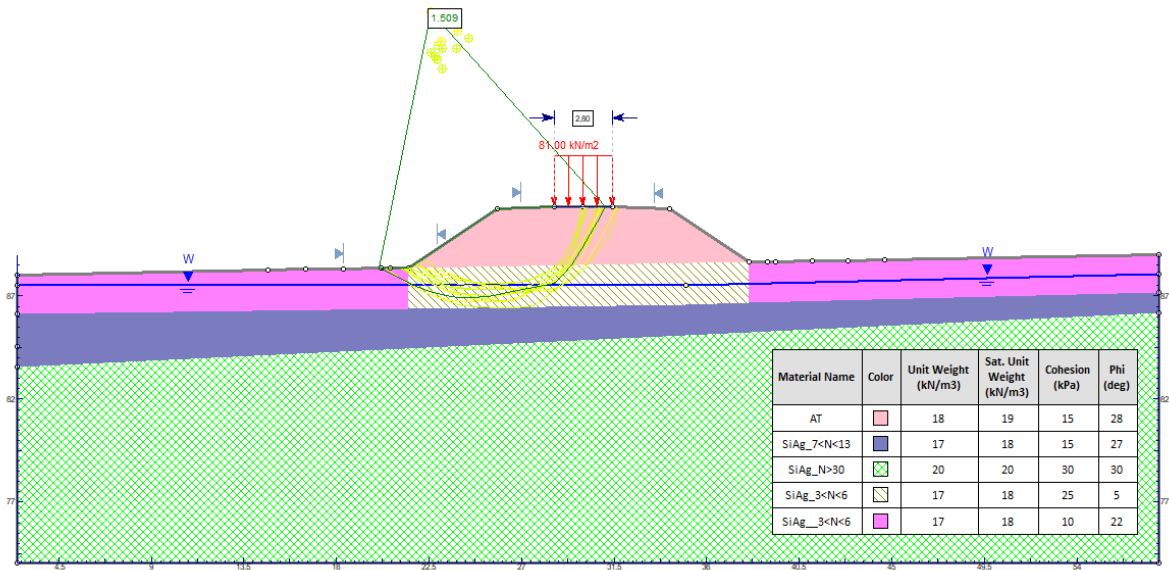




Figura 11. 9: Aterro implantado sem troca de solo – solo de fundação comportamento coesivo – FS=1,50.

Interseção São Felix – Ramo SF-100 - Estaca 26+00

Esta análise é representativa dos taludes do ramo SF-100 situados entre as estacas 26+00 e 45+00 e

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	67/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

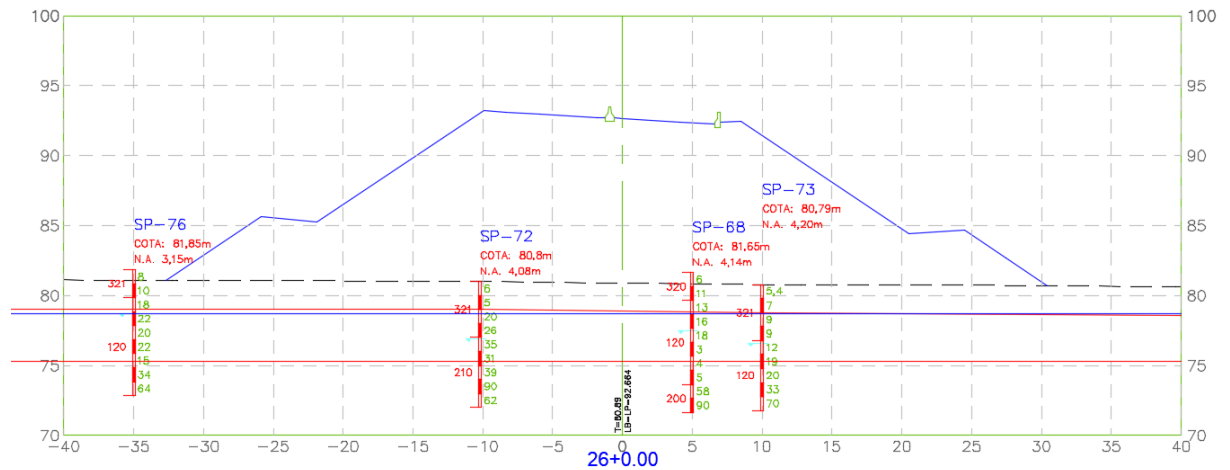


Figura 11. 10 Perfil geotécnico

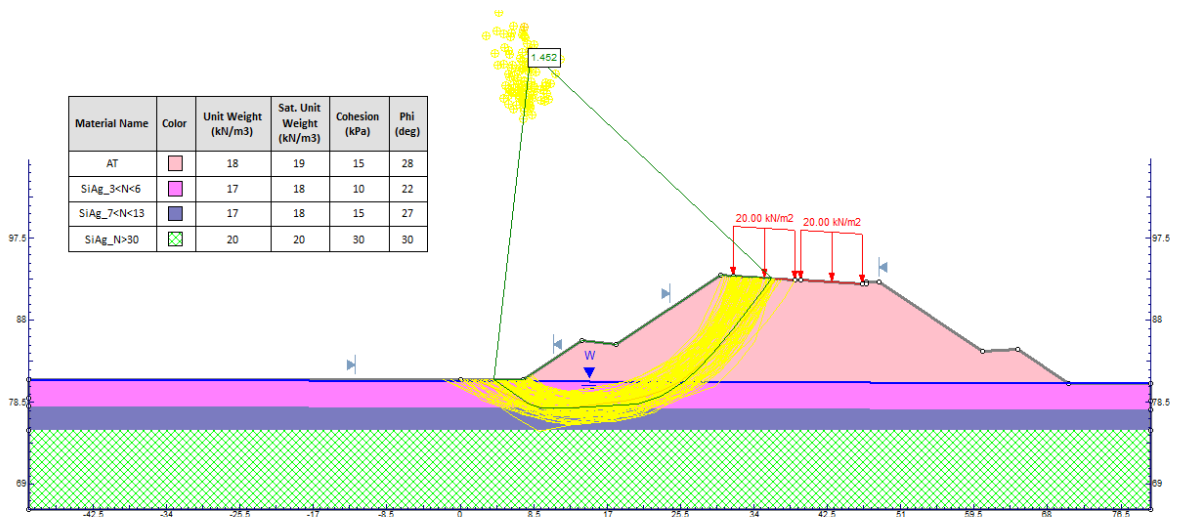




Figura 11. 11: Aterro implantado sem troca de solo – FS=1,45

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	68/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

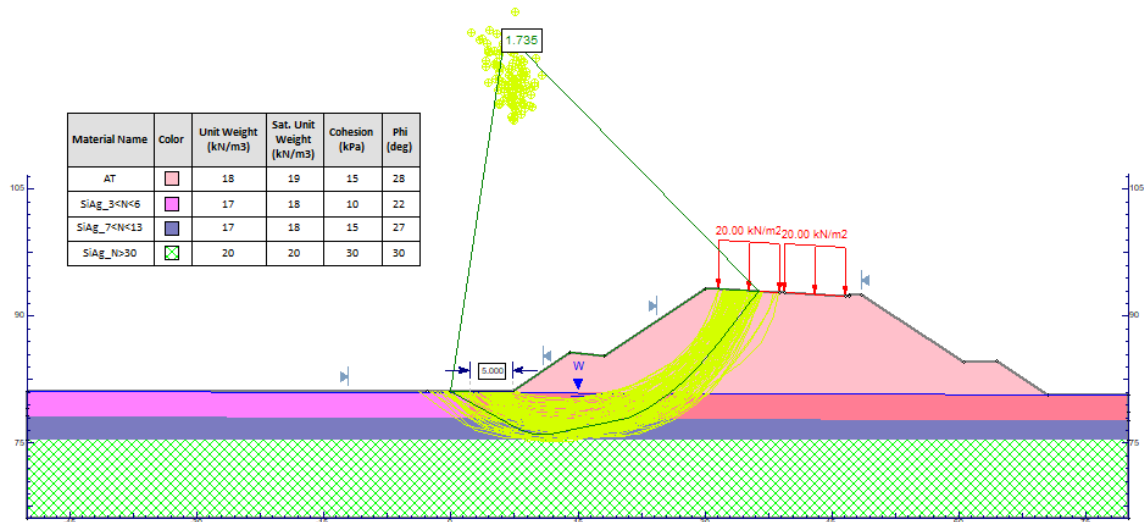




Figura 11. 12: Aterro implantado com troca de solo – FS=1,73

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 69/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Interseção São Felix – Ramo SF-100 - Estaca 48+00

Aqui, a seção analisada se aproxima do aterro da ponte existente de modo que não será prevista a troca de solo em toda a base do talude. Esta análise é representativa das estacas 45 a 50 do ramo SF-100 e 20 a 33+9,5 do ramo SF-200.

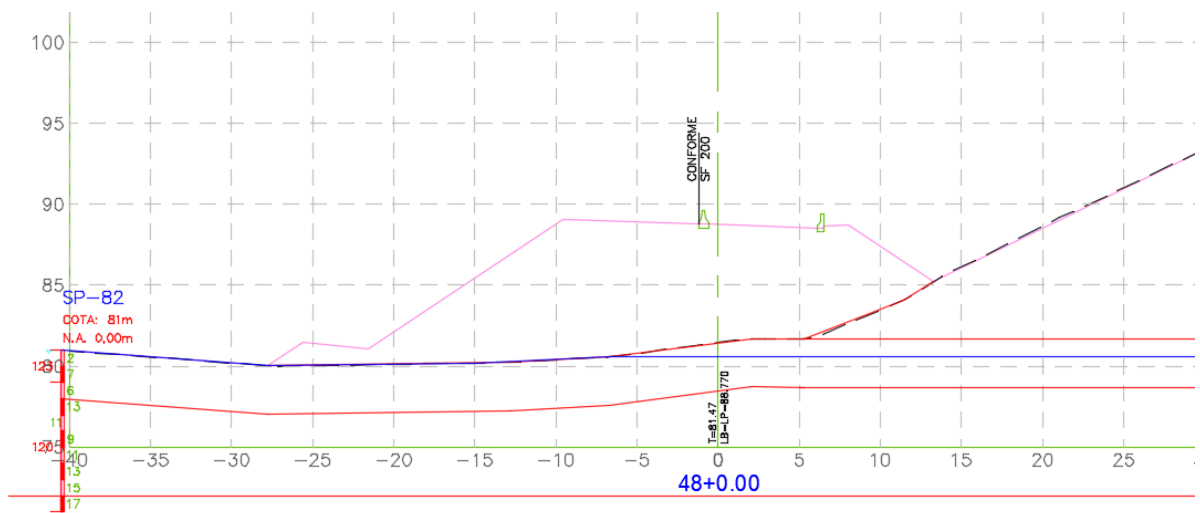




Figura 11. 13:Perfil geotécnico

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	70/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

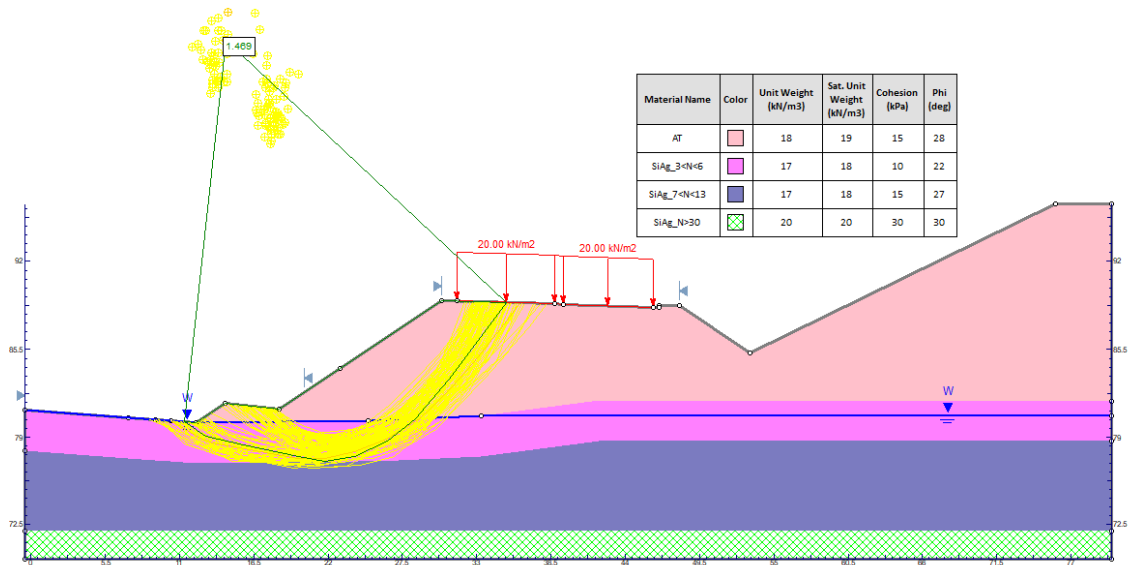


Figura 11. 14: Aterro implantado sem troca de solo – FS=1,46

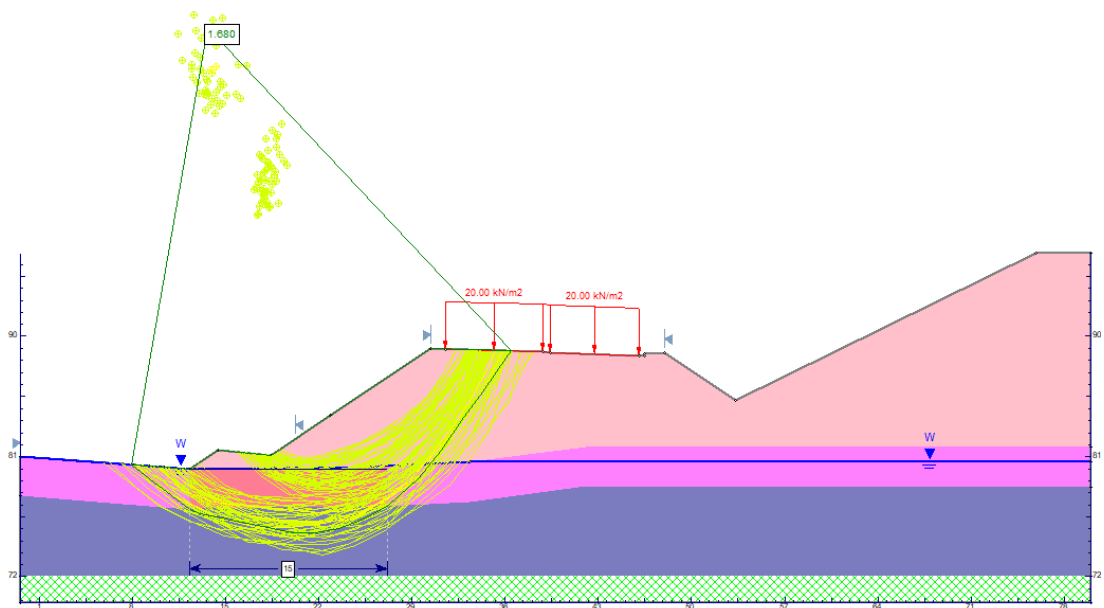





Figura 11. 15 Aterro implantado com troca de solo localizada de 15 metros – FS=1,68

		<p>CLASSIFICAÇÃO</p> <p>INTERNO</p>	<p>NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS</p> <p>L2040</p>	
<p>PROJETO DETALHADO</p> <p>FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361)</p> <p>PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS</p> <p>RELATÓRIO GEOTÉCNICO</p> <p>RELATÓRIO TÉCNICO</p>			<p>Nº VALE</p> <p>RL-2500KF-C-50002</p>	<p>PÁGINA</p> <p>71/101</p>
			<p>Nº EGT</p> <p>VR19A-S1R-00-005</p>	<p>REV.</p> <p>1</p>

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 72/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Áreas estimadas de troca de solo

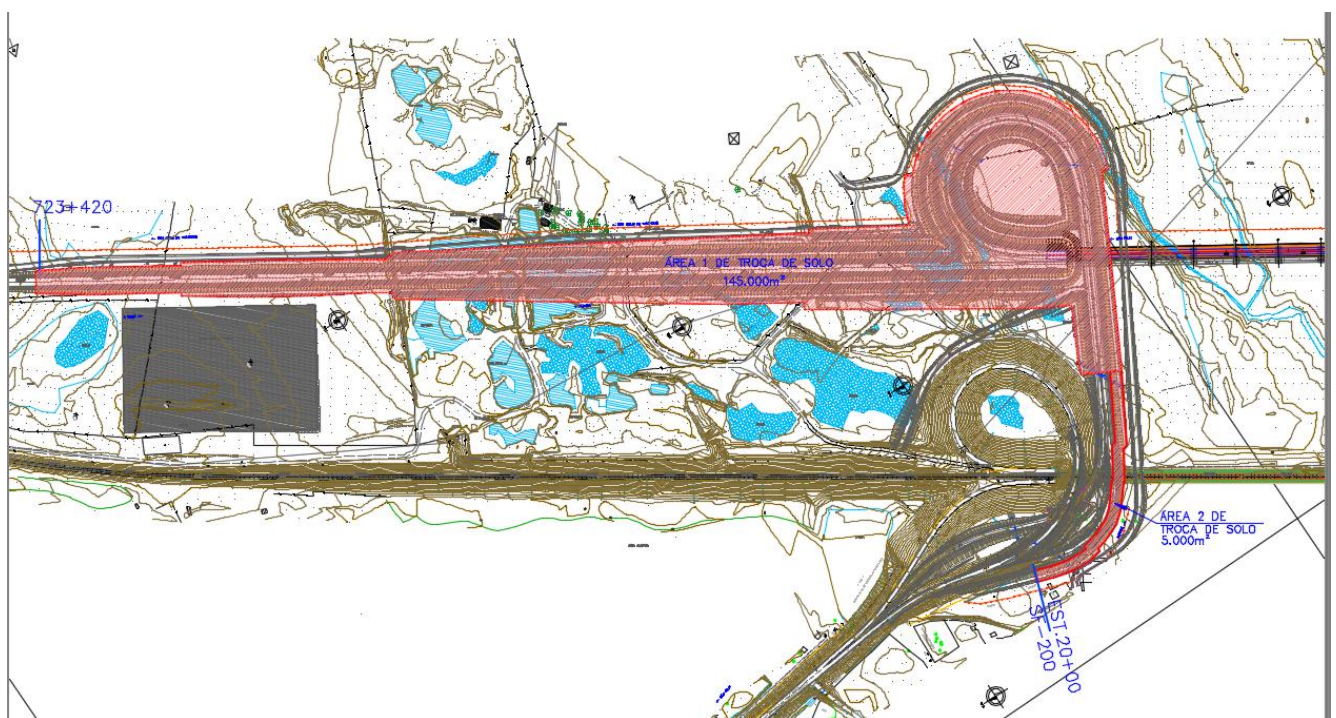


Figura 11. 16: Áreas estimadas de troca de solo

Área estimada 1 = 145000m²



Área estimada 2 = 5000m²

Volume estimado de substituição = 150.000 x 2 = 300.000m³

As áreas de substituição indicadas na figura 11.16 encontram-se melhor detalhadas no anexo 1.

Lado de Marabá

Considerações iniciais

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 73/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Neste lado a maior parte dos taludes são estáveis, contudo especial atenção deverá ser dada aos taludes de aterro posicionados no fundo dos vales. Nesta região de baixada é onde foi observada a ocorrência de solos coluvionares pouco competentes e que condicionarão os resultados das análises de estabilidade.

Em função do descrito, será necessário promover uma limpeza dos talweges, fazendo uma substituição do solo local por aterro compactado.

A título de estimativa, deverá ser prevista uma espessura de substituição de 2 metros aplicado nas áreas de talvegue e de 3 metros na área de baixada do ramo 100. Estas áreas encontram-se indicadas no item 11.2.6.



Ressalta-se que os volumes obtidos são estimados e deverão ser aferidos com sondagens tipo barra mina.

Após a remoção do material, a área deverá ser examinada por engenheiro geotécnico, que poderá solicitar um volume adicional de remoção ou liberar a área para a execução dos aterros.

Maiores detalhes referentes ao tratamento destas áreas será fornecida nas especificações de terraplenagem.

Estaca 113+00

A análise desta seção caracteriza as condições dos taludes posicionados no meio dos vales situados entre os km_s 727+140 ao 727+260 e 727+360 ao 727+480.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO		Nº VALE	PÁGINA	
FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361)		RL-2500KF-C-50002	74/101	
PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS		Nº EGT	REV.	
RELATÓRIO GEOTÉCNICO		VR19A-S1R-00-005	1	
RELATÓRIO TÉCNICO				

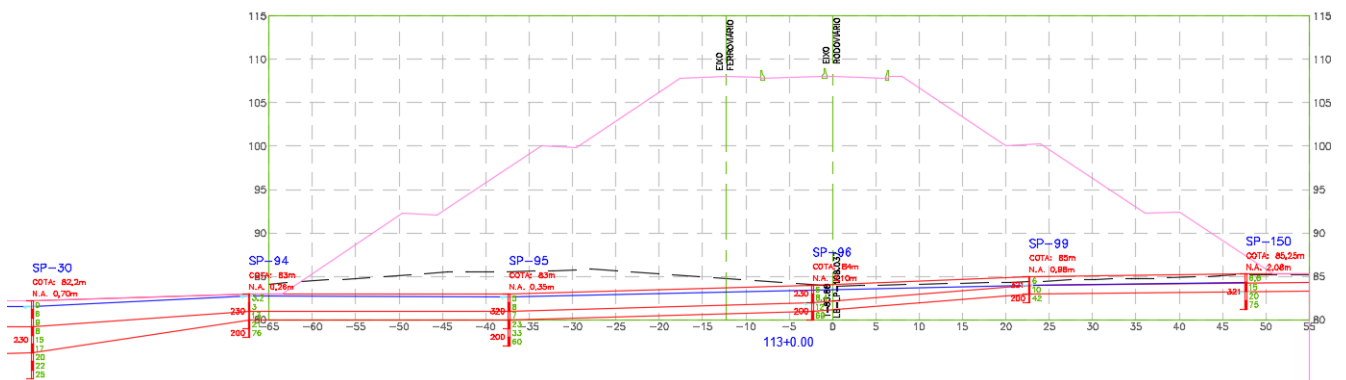


Figura 11. 17: Perfil geotécnico

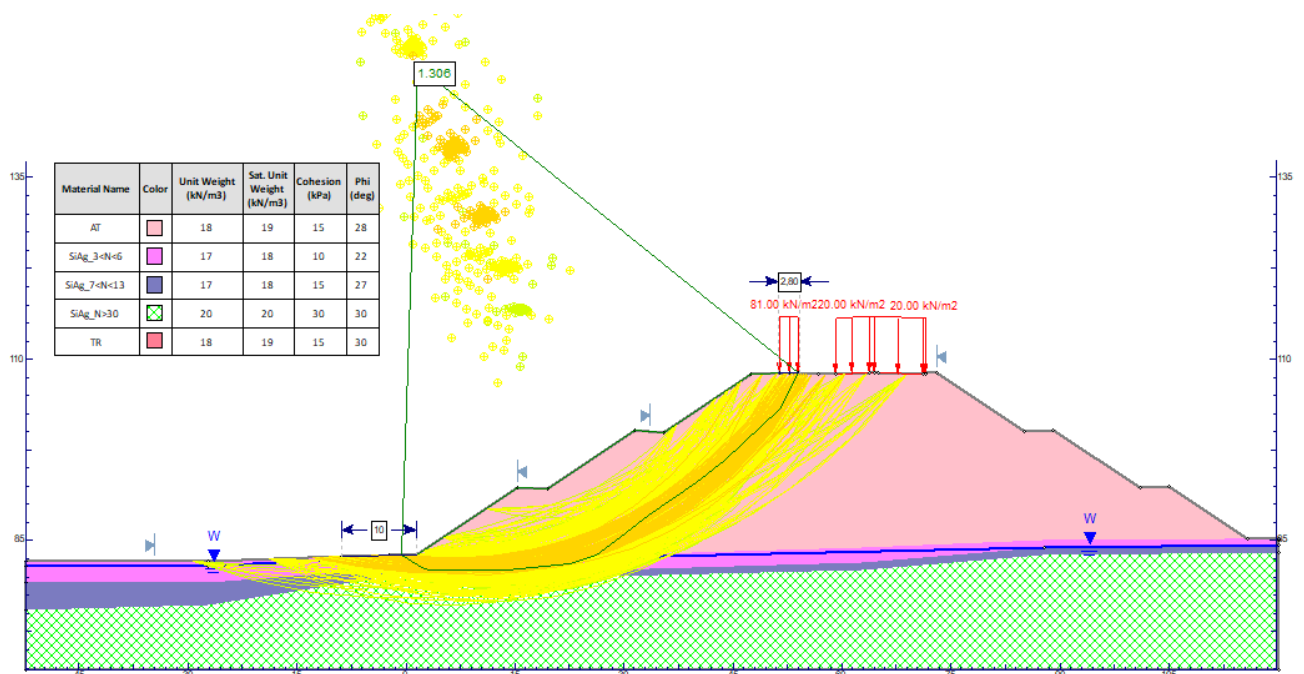




Figura 12. 1: Aterro implantado sem a remoção da camada coluvionar – FS=1,30

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 75/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

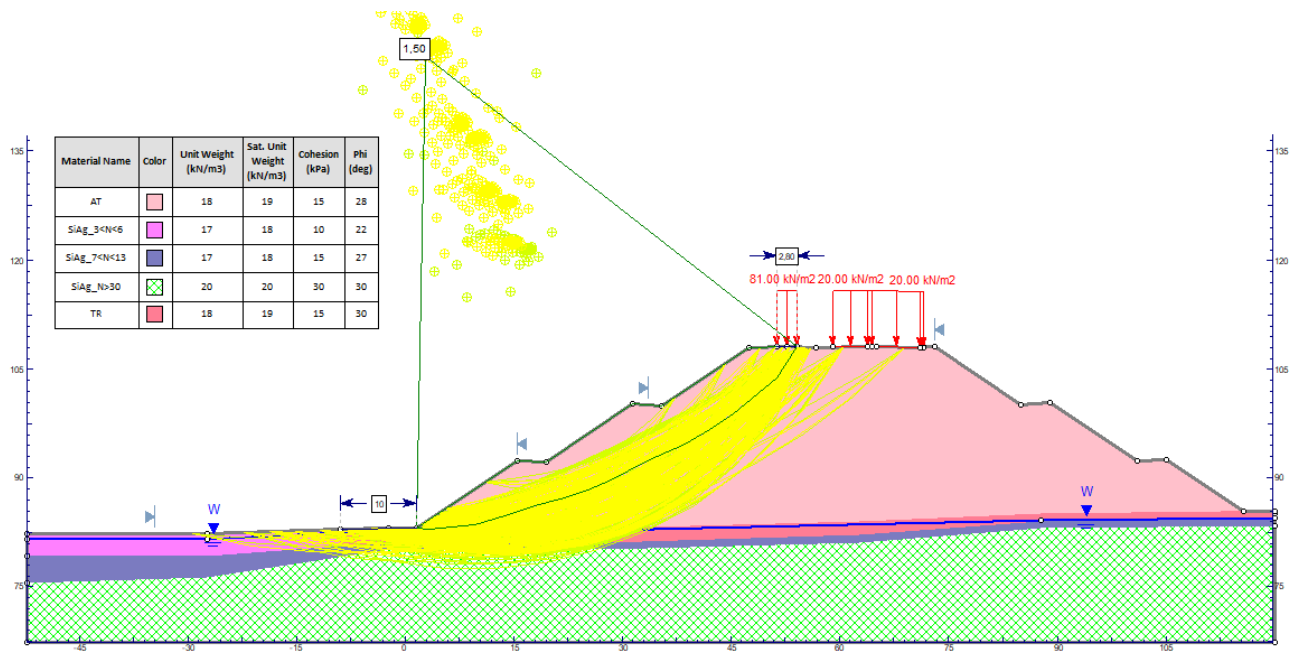




Figura 12. 2: Aterro implantado após a remoção do colúvio e substituição por aterro compactado– FS=1,50

Estaca 112+00

Esta análise caracteriza as condições dos taludes laterais a seção crítica que passa pelo meio do vale, em regiões onde as sondagens não identificaram a ocorrência do solo colúvionar.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO		Nº VALE	PÁGINA	
FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361)		RL-2500KF-C-50002	76/101	
PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS		Nº EGT	REV.	
RELATÓRIO GEOTÉCNICO		VR19A-S1R-00-005	1	
RELATÓRIO TÉCNICO				

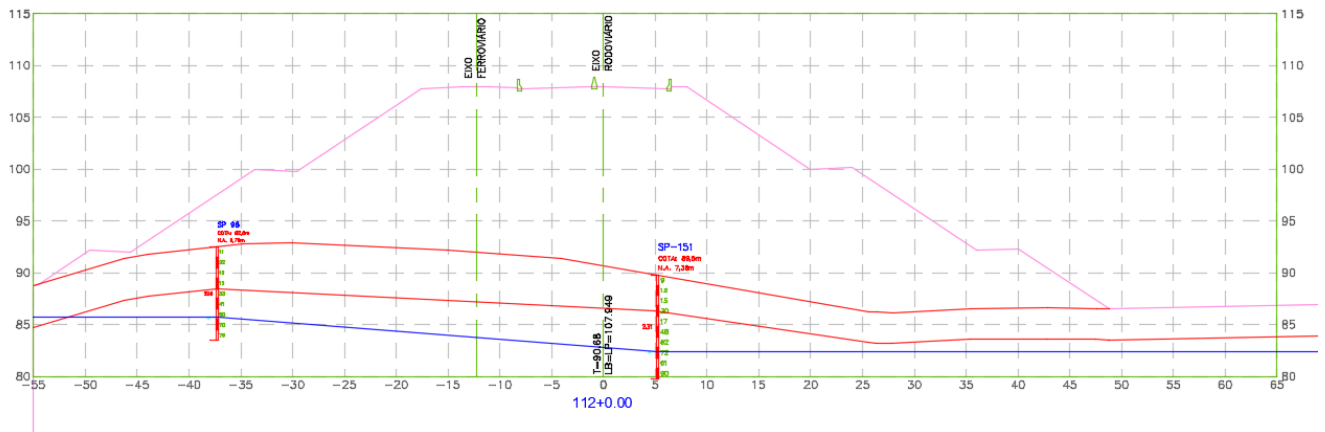


Figura 11. 18: Perfil geotécnico

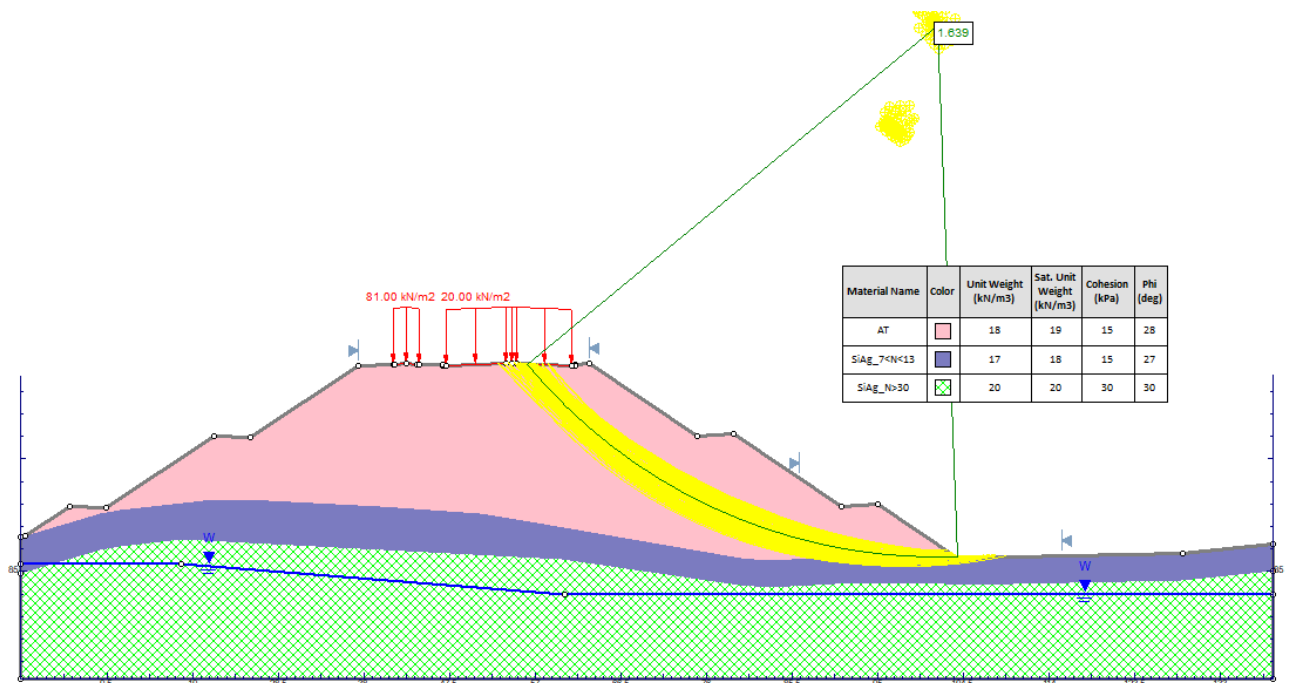




Figura 12. 3: Aterro implantado fora das regiões dos vales – FS = 1,63

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	77/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

Estaca 66+00

Esta análise é representativa dos poucos trechos que serão implantados por meio de cortes e que ficam situados entre os kms 727+980 e 728+500, ela também serve para os trechos implantados em cortes da interseção Marabá dos ramos MA-100 500 e 700, cujos desníveis são menores que e o perfil de subsolo é semelhante.

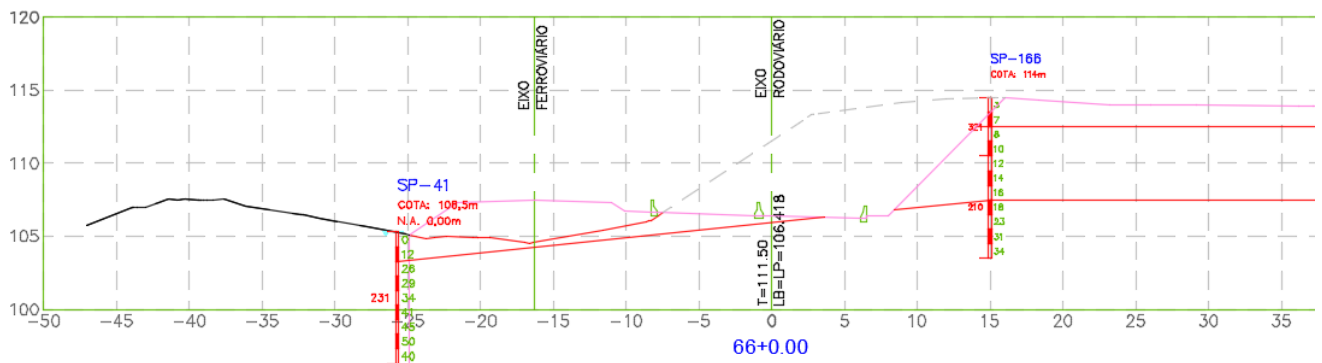




Figura 11. 19:Perfil geotécnico

 	CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
	INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº VALE	PÁGINA	
	RL-2500KF-C-50002	78/101	
	Nº EGT	REV.	
	VR19A-S1R-00-005	1	

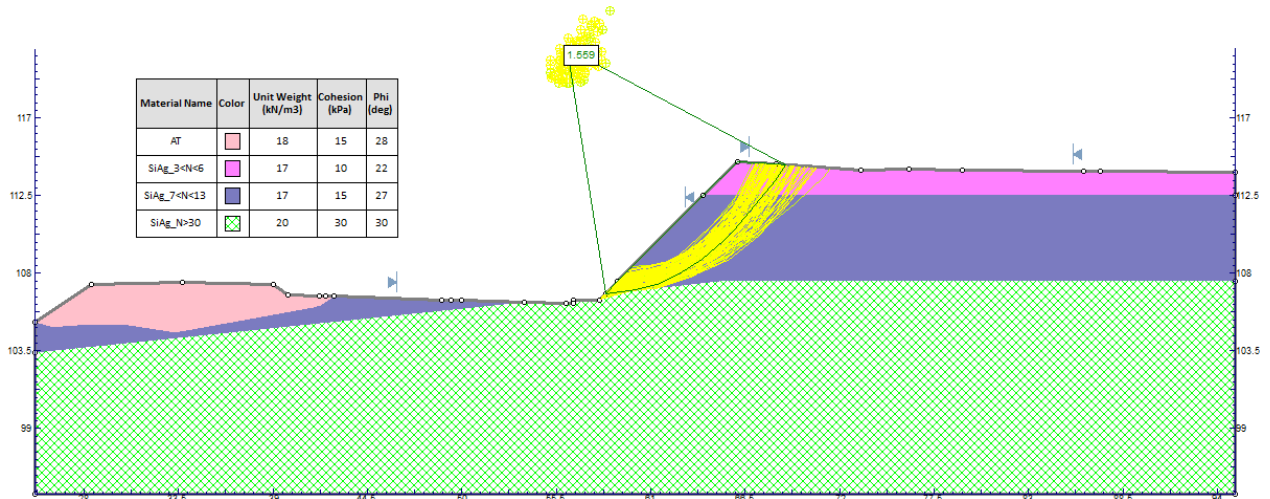


Figura 12. 4: Análise de estabilidade dos cortes – FS=1,55

Interseção Marabá – MA-100 - Estaca 39+00

Esta análise é representativa dos aterros que serão feitos para conformação do ramo MA100, em região de baixada, onde a sondagem próxima – SP200C caracterizou a ocorrência de 3 metros de solo argiloso com Nspts ente 2 e 4 golpes.

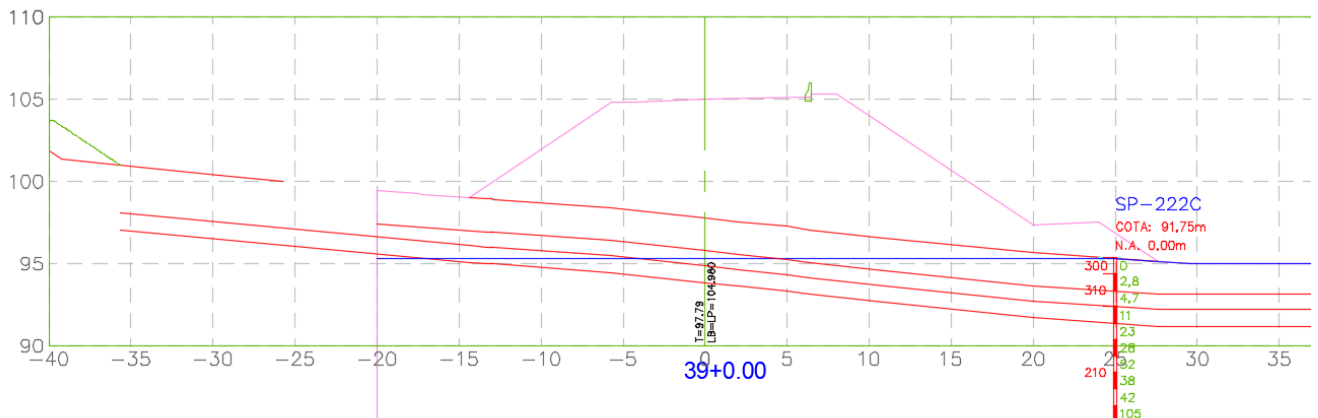




Figura 11. 20:Perfil geotécnico

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 79/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

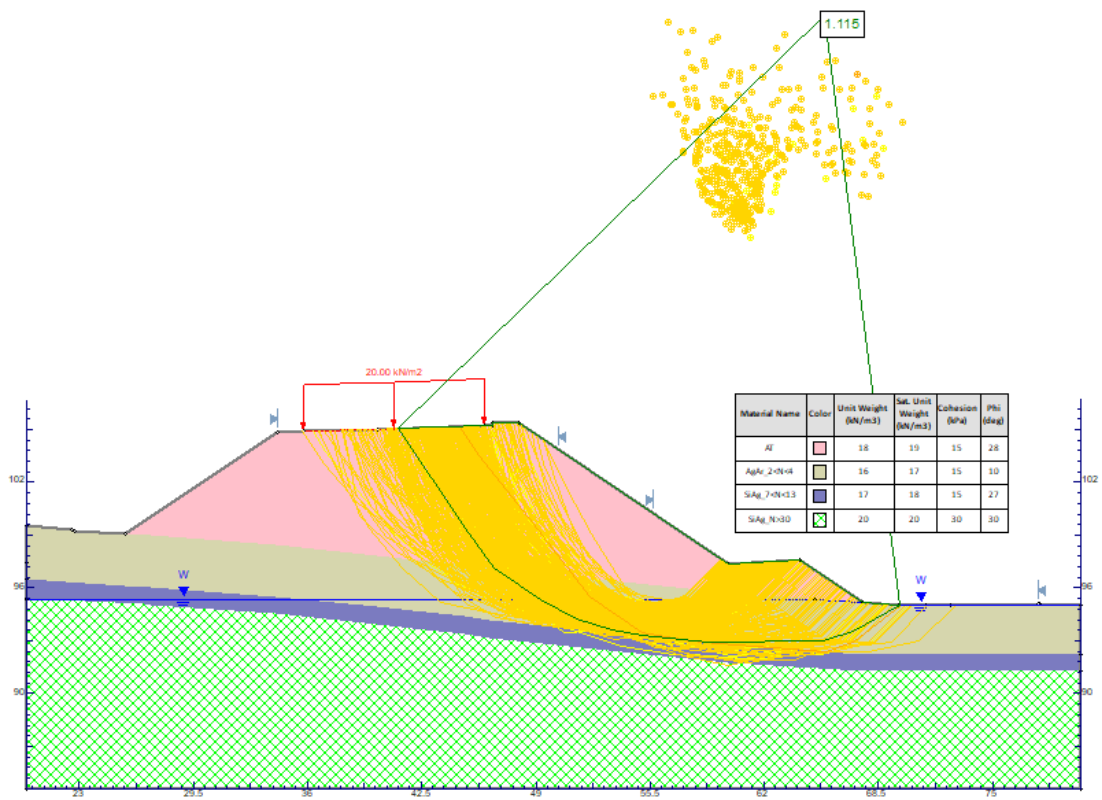




Figura 12. 5: Aterro implantado sem troca de solo – FS = 1,11

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
			RL-2500KF-C-50002	80/101
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

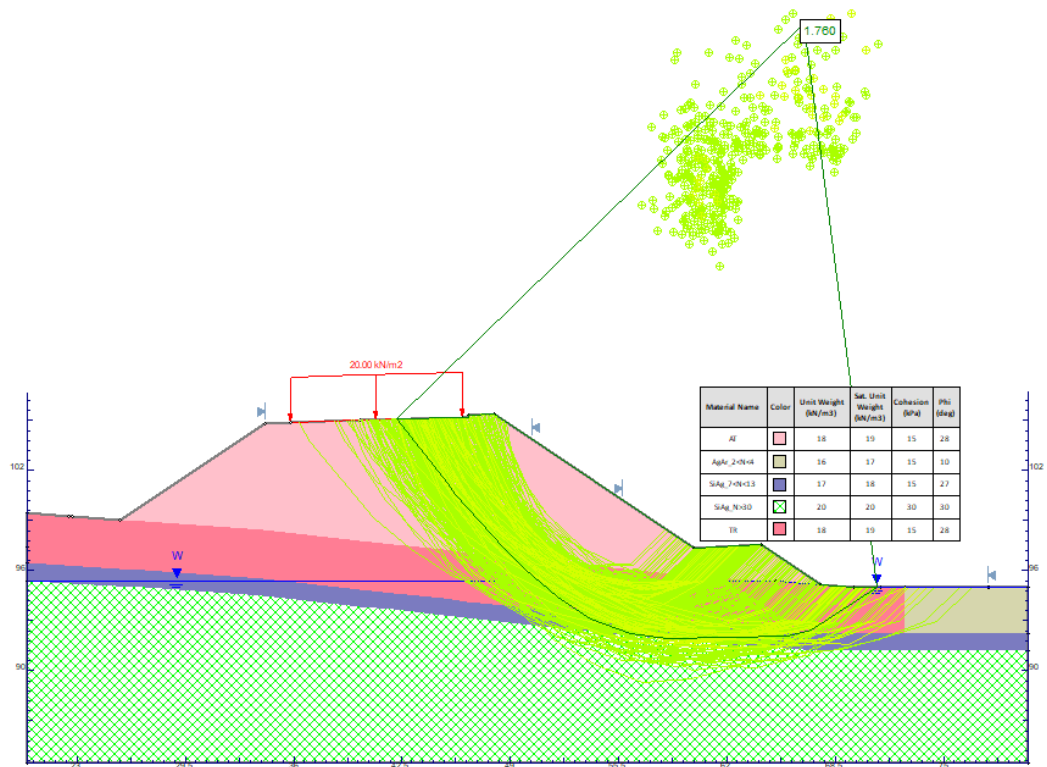




Figura 12. 6: Aterro implantado com troca de solo FS=1,70

Áreas estimadas de troca de solo

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 81/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

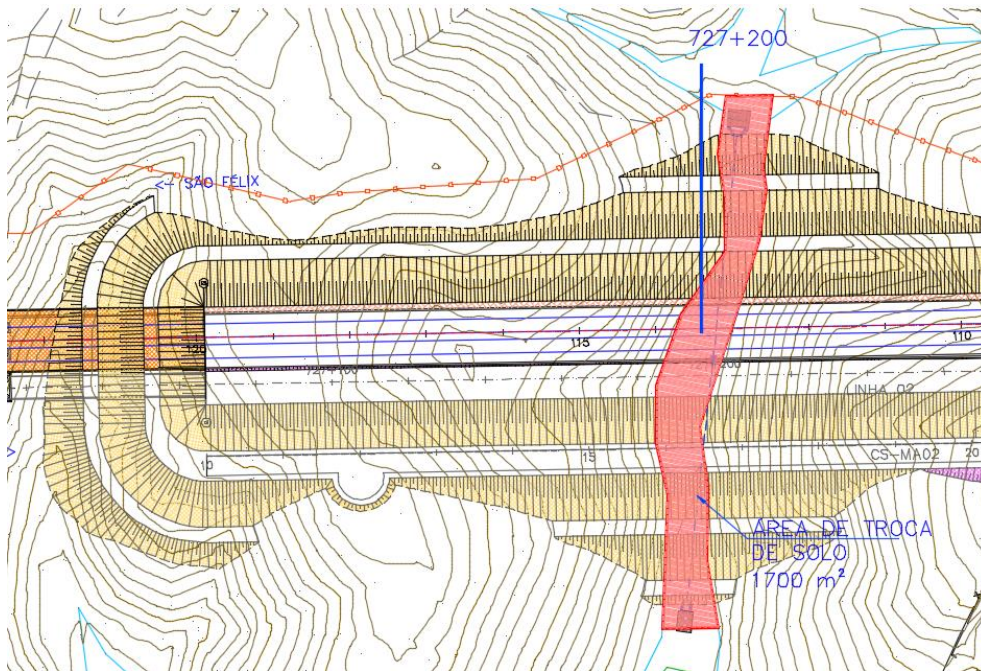




Figura 11. 21: Área estimada de troca de solo – Talvegue do km 727+200

Volume estimado = $1700 \times 2 = 3400\text{m}^3$

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 82/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

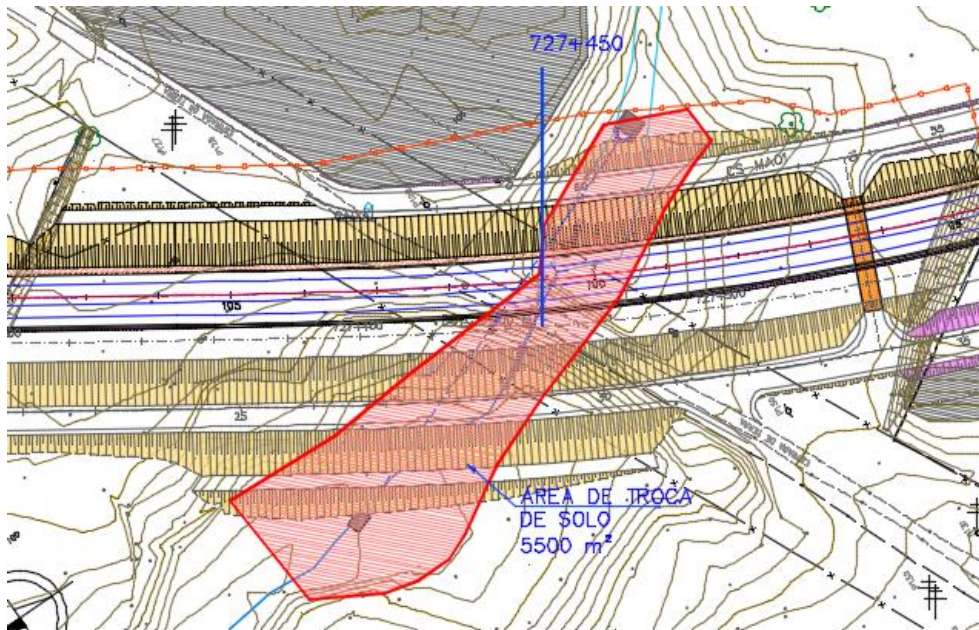




Figura 11. 22: Área estimada de troca de solo – Talvegue do km 727+450

Volume estimado = $5500 \times 2 = 11000\text{m}^3$

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	83/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

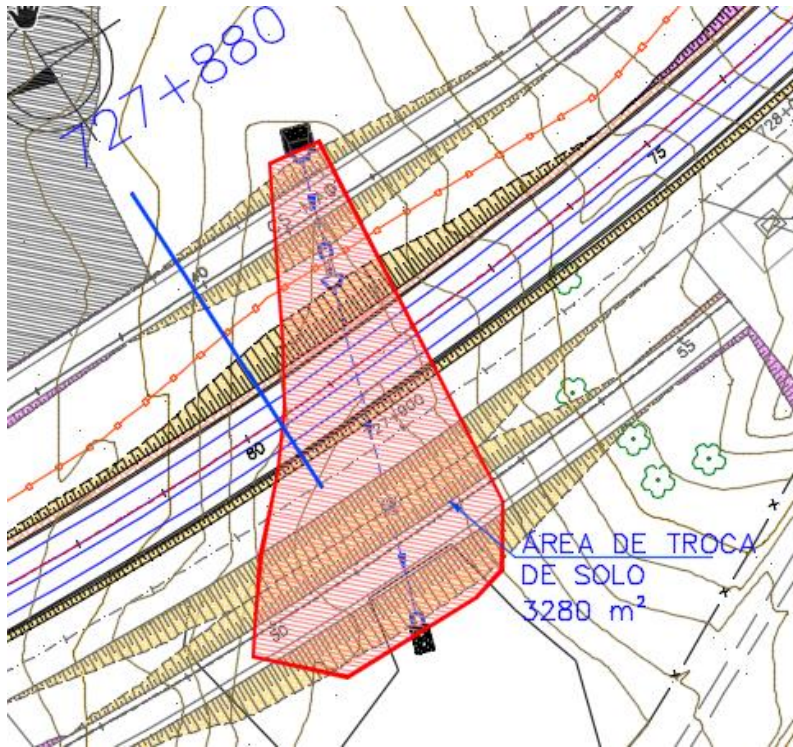




Figura 11. 23 : Área estimada de troca de solo – Talvegue do km 727+880

Volume estimado = $3280 \times 2 = 6560\text{m}^3$

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	84/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

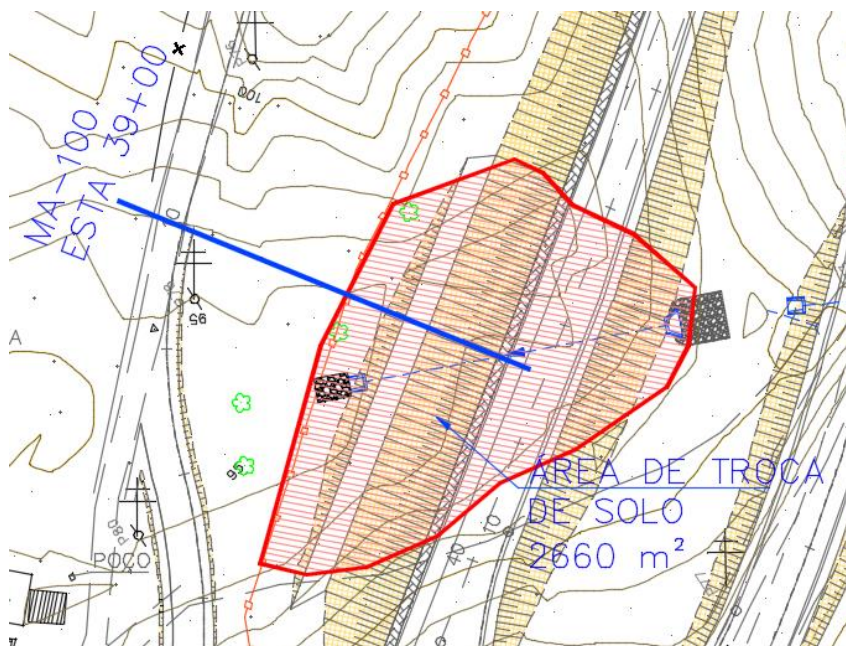




Figura 11. 24: Área estimada de troca de solo – Região de baixada da interseção Marabá – ramos MA-100 Estaca 39+00

Volume estimado = $2660 \times 3 = 7980\text{m}^3$

As áreas de substituição indicadas nas figuras 11.21 a 11.24 encontram-se melhor detalhadas no anexo 2.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 85/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

FUNDAÇÃO DA VIA FÉRREA

Este item tem por objetivo fornecer as informações sobre a caracterização do subleito que servirão para nortear a topografia/pavimentação quanto a necessidade ou não se de promover o reforço do subleito.

Para tanto foram tomadas as premissas do projeto de pavimentação ferroviária, onde a necessidade de se promover o reforço de subleito está condicionada aos valores de CBR conforme tabela abaixo, não sendo admitidos materiais com expansões maiores que 2%, conforme critério de projeto da Vale.

Subleito	Reforço
CBR \geq 10%	Sem Reforço
5% \leq CBR < 10%	CBR \geq 11%
CBR < 5%	CBR \geq 13%



Tabela 12. 1– Característica do subleito para aplicação de reforço – tabela transcrita da MC-2500KF-Y-00001

Neste item, também será verificado se as tensões transferias ao subleito superam as tensões admissível do subsolo local. As tensões atuantes no subleito estão apresentadas na **MC-2500KF-Y-00001**, onde também se encontram as especificações dos materiais das diversas camadas.

Caracterização dos materiais do subleito e indicação do reforços do subleito

As tabelas a seguir resumem por trechos as características do subsolo ao longo da via.

Os dados que serão apresentados reúnem os resultados dos ensaios de caracterização do solo feitos ao longo do eixo da futura via férrea cujos boletins estão em **RL-2500KF-X-50005**



		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 86/101
		Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Para facilitar a visualização, os valores de CBR acima de 10% foram destacados em verde, os situados entre 5 e 10% destacados na cor magenta e os abaixo de 5% destacados em vermelho. Os valores de expansão maiores que 2% também estão destacados em vermelho.

Notar que os critérios para a indicação do reforço são válidos para as áreas de corte e de transição corte aterro; nas áreas de aterro a coluna “REFORÇO DE SUBLEITO SEGUNDO CRITÉRIOS DE PROJ.” está preenchida como N/A, que significa Não se Aplica.

Lado São Félix:



CORTE / ATRRRO	TRECHO					GRANULOMETRIA			ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA			CLASSIFICAÇÃO HRB		CBR		COMPOR.GERAL COMO SUBLEITO SEGUNDO HRB
	KM Inicial	KM final	ST	KM da ST	EXTENSÃO (m)	N. 10%	N. 40%	N. 200%	LL	LP	IP	IG	classif. HRB	CBR (%)	expansão (%)	
CORTE-01	721+200	721+400			200	99,8	93,3	24,7	-	-	-	-	-	-	-	-
ATERRO -01	721+400	721+880	ST-100	721+660	480	99,8	93,3	24,7	NL	NP	-	0	A-2-4	26	0,01	Excelente a bom
			ST-101	721+800		99,9	96,4	28,1	NL	NP	-	0	A-2-4	15,1	0,01	Excelente a bom
CORTE-02	721+880	721+900	ST-102	721+900	20	99,8	94,5	28,1	NL	NP	-	0	A-2-4	13,2	0,01	Excelente a bom
ATERRO -02	721+900	722+145	ST-103	722+000	245	99,9	93,5	32,9	NL	NP	-	0	A-2-4	17,9	0,01	Excelente a bom
			ST-104	722+100		99,8	84,9	27,7	NL	NP	-	0	A-2-4	14,2	0,01	Excelente a bom
CORTE-03	722+145	722+180	ST-105	722+200	35	99,9	93,5	33,3	NL	NP	-	0	A-2-4	20,3	0,01	Excelente a bom
ATERRO-03	722+180	724+740	ST-105	722+200	2560	99,9	93,5	33,3	NL	NP	-	0	A-2-4	20,3	0,01	Excelente a bom
			ST-106	722+300		99,8	93,7	32,2	NL	NP	-	0	A-2-4	15,6	0,01	Excelente a bom
			ST-01*	722+360		99,8	94,4	22,4	NP	NP	0,00%	0	A-2-4	33	0	Excelente a bom
			ST-107	722+400		99,9	94,5	33,2	NL	NP	-	0	A-2-4	9,2	0,01	Excelente a bom
			ST-108	722+500		99,7	67,5	20,5	NL	NP	-	0	A-2-4	19,1	0,01	Excelente a bom
			ST-02*	722+510		99,9	85,5	11,1	NP	NP	0,00%	0	A-2-4	16,7	0,1	Excelente a bom
			ST-109	722+700		99,8	81,7	32,6	NL	NP	-	0	A-2-4	13,1	0,01	Excelente a bom
			ST-04*	722+710		99,8	93,2	32	NP	NP	-	0	A-2-4	12,9	0	Excelente a bom
			ST-05*	723+120		99,9	86,7	15,2	NP	NP	-	0	A-2-4	13,4	0	Excelente a bom
			ST-06*	723+320		99,9	84,2	24,2	NP	NP	-	0	A-2-4	25,7	0	Excelente a bom
			ST-07*	723+520		98,4	82,1	11,4	NP	NP	-	0	A-2-4	12,4	0	Excelente a bom
			ST-110	722+860		99,7	75,2	19,4	NL	NP	-	0	A-2-4	15,5	0,01	Excelente a bom
			ST-111	723+100		99,9	56,4	19,4	NL	NP	-	0	A-2-4	6,1	0,01	Excelente a bom
ST-112	723+200		99,2	81,4	32,9	NL	NP	-	0	A-2-4	9,2	0,01	Excelente a bom			
ST-113	723+400		99,1	83,1	34,7	NL	NP	-	0	A-2-4	10,4	0,01	Excelente a bom			
ST-114	723+600		86,4	66,1	34,8	NL	NP	-	0	A-2-4	3,1	0,49	Excelente a bom			
ST-115	723+800		99,9	80,2	19,7	NL	NP	-	0	A-2-4	15,8	0,01	Excelente a bom			
ST-116	724+160		100	75,4	24,6	NL	NP	-	0	A-2-4	17,5	0,01	Excelente a bom			
PONTE	724+740	727+070														

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 87/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Basicamente, no lado de São Félix, o material do subleito é arenoso fino, com classificação A-2-4 conforme HRB (Highway Research Board), é pouco expansivo e tem valores

de CBRs maiores que 10 golpes. Tais características permitem que subsolo local tenham um comportamento adequado para servir de subleito.

Os tratamentos superficiais que se fazem necessário para se apoiar a pavimentação deste trecho encontram-se detalhados na **MC-2500KF-Y-00001**.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE	PÁGINA
			RL-2500KF-C-50002	88/101
			Nº EGT	REV.
			VR19A-S1R-00-005	1

Lado de Marabá:



CORTE / ATRRRO	KM inicial	KM final	ST	KM da ST	EXTENSÃO (m)	N. 10 %	N. 40 %	N. 200 %	LL	LP	IP	IG	classif. HRB	CBR (%)	expansão (%)	COMPOR. GERAL COMO SUBLEITO SEGUNDO HRB
PONTE	724+740	727+070														
ATERRO-04	727+070	727+560			490				-	-	-	-	-	-	-	
CORTE-04	727+560	727+680	ST-123	727+600	120	98,5	90,6	78,9	28,60%	12,90%	-	9	A-6	0,6	1,02	Fraco ou pobre
			ST-124	727+700		89,8	83,6	82,9	43,50%	20,50%	-	13	A-7-6	3,1	1,79	Fraco ou pobre
ATRR-05	727+680	727+730	ST-124	727+700	50	89,8	83,6	82,9	43,50%	20,50%	-	13	A-7-6	3,1	1,79	Fraco ou pobre
CORTE-05	727+730	727+755	ST-125	727+800	25	64	52,2	45,8	37,60%	15,10%	-	4	A-6	6,2	0,44	Fraco ou pobre
ATRR-06	727+755	727+970		727+800	215				-	-	-	-	-	-	-	
CORTE-06	727+970	728+120	ST-126	727+980	150	90,1	80,2	77,7	42,70%	20,50%	-	13	A-7-6	2,4	0,99	Fraco ou pobre
			ST-127	728+200		90,7	85,2	84,8	NL	NP	-	8	A-4	0,6	4,86	Fraco ou pobre
			ST-128	728+300		71,9	63,7	58,8	44,00%	20,00%	-	9	A-7-6	3,8	0,87	Fraco ou pobre
CORTE-07	728+320	728+450	ST-21	728+360	130	53,6	48,3	39,1	40,10%	14,80%	-	2	A-7-6	12,1	0,8	Fraco ou pobre
			ST-129	728+400		88,8	53,9	39,2	NL	NP	-	1	A-4	1,1	2,9	Fraco ou pobre
ATRR-08	728+450	728+720	ST-130	728+500	270	82,7	74,5	69,7	38,00%	15,90%	-	9	A-6	1,4	4,14	Fraco ou pobre
			ST-22*	728+560		52,2	44,6	34,7	31,50%	12,40%	-	0	A-2-6	20,4	0,3	Excelente e bom
CORTE-08	728+720	728+830			110				-	-	-	-	-	-	-	
ATRR-09	728+830	729+180			350				-	-	-	-	-	-	-	
CORTE-09	729+180	729+290			110				-	-	-	-	-	-	-	

Já no lado de Marabá, o material caracterizado é siltoso / argiloso, com classificação HRB entre A-6 e A-7, é expansivo e apresenta baixos valores de CBR. Tais características o torna impróprio para servir de subleito, sendo necessário promover a remoção de uma camada superficial e substituí-la por aterro compactado que servirá de reforço do subleito.

Em função destes resultados os reforços de subleito foram previstos em toda a extensão das áreas de corte e de transição corte/aterro, conforme está detalhado na **Tabela 5 do MC-2500KF-Y-00001**.

Tensão admissível no nível do subleito.

As tensões transferidas pela ferrovia ao nível do subleito serão inferiores a 0,5 kgf/cm². Esta tensão é muito baixa e não traz preocupações maiores uma vez que na região não foram observadas camadas de argilas moles.

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 89/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

A verificações de tensão admissível, feitas por meio de cálculo de capacidade de carga de Terzaghi mostram isso. Nestes cálculos o lastro e o sublastro lastro foram admitidos com largura de 3,5 metros e os parâmetros do solo do subleito forma adotados conforme tabela 11.2.

Cálculo de Capacidade de Carga por Terzaghi (1942) - V.3

Cliente: Vale
 Obra: Duplicação da ferrovia
 Trecho: Tocantins

Dimensões da sapata

B (sapata): 1,0
 3,5 m
 A sapata está submersa? n S/N
 Quanto está enterrada? 0,00 m
 O solo de apoio está submerso? S S/N

Parâmetros de Solo

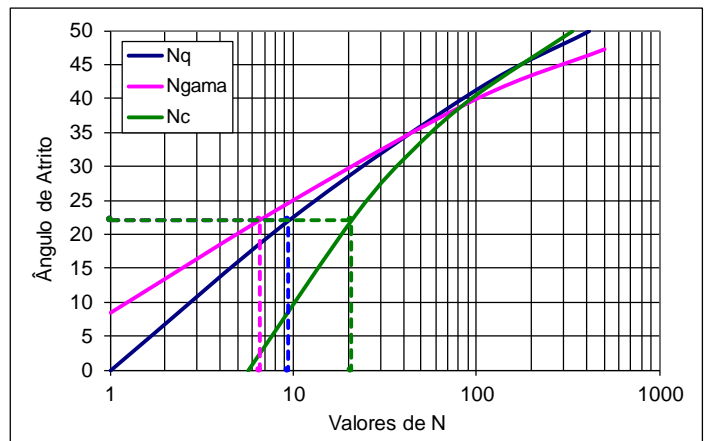
Ângulo de Atrito ϕ : 22,0°
 Coesão c: 0,50 tf/m²
 Peso específico γ : 1,70 tf/m³
 Fator de Segurança: 3

Parâmetros tirados do gráfico

Nc: 20,7
 Nq: 9,4
 Ny: 6,6

Formato da Sapata/Tubulão

1 - Corrida
 2 - Retangular
 3 - Circular
 1





Resultado

$$q_f = c' \times N_c' + p' (N_q' - 1) + 0,5 \times B \times \gamma' \times N_y' + p$$

$$q_f = 0,5 \times 20,7 + (1,7 \times 0) \times (9,4 - 1) + 0,5 \times 3,5 \times (1,7 - 1) \times 6,6 + (0 \times 1,7) = 18,44 \text{ tf/m}^2$$

$$1,8 \text{ kgf/cm}^2$$

$$q_f / 3 = 0,61 \text{ kgf/cm}^2$$

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 90/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Cálculo de Capacidade de Carga por Terzaghi (1942) - V.3

Cliente:	Vale
Obra:	Duplicação da ferrovia
Trecho:	Tocantins

Dimensões da sapata

B (sapata):	1,0	
	3,5	m
A sapata está submersa?	n	S/N
Quanto está enterrada?	0,00	m
O solo de apoio está submerso?	S	S/N

Parâmetros de Solo

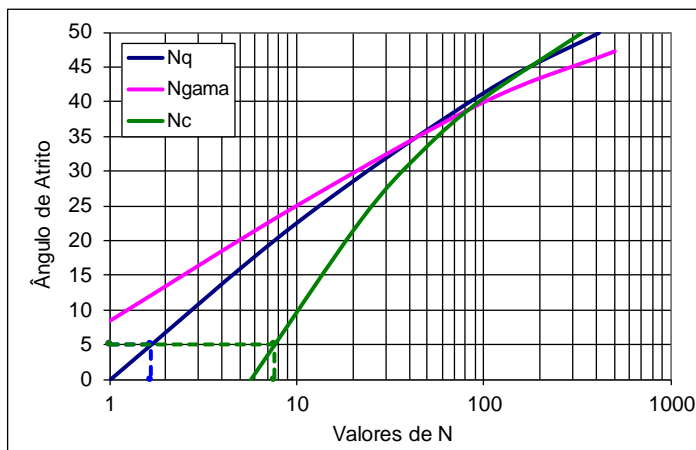
Ângulo de Atrito ϕ	5,0	°
Coesão c:	2,50	tf/m ²
Peso específico γ :	1,70	tf/m ³
Fator de Segurança:	3	

Parâmetros tirados do gráfico

Nc:	7,6
Nq:	1,7
N γ :	0,0

Formato da Sapata/Tubulão

1 - Corrida	1
2 - Retangular	
3 - Circular	



Resultado

$$q_f = c' \times N_c' + p' (N_q - 1) + 0,5 \times B \times \gamma' \times N_\gamma' + p$$

$$q_f = 2,5 \times 7,6 + (1,7 \times 0) \times (1,7 - 1) + 0,5 \times 3,5 \times (1,7 - 1) \times 0 + (0 \times 1,7) = 19,00 \text{ tf/m}^2$$

$$1,9 \text{ kgf/cm}^2$$

$$q_f / 3 = 0,63 \text{ kgf/cm}^2$$



Sistema de drenagem sub-superficial

No lado de São Félix o lençol freático está próximo a superfície, portanto, nos trechos onde os aterros são baixos, deverão ser implantados colchões de brita lançados sobre e mais uma camada de material filtrante (areia ou uma manta geotêxtil) associada a drenos sub-superficiais, que servirão para evitar que o efeito de “Bombeamento” da água do lençol, causado pela passagem do trem, provoque a contaminação e o comprometimento do lastro.

Empréstimos

Os materiais a serem empregados como empréstimo para a execução dos corpos de aterro também deverão atender a critérios mínimos especificados pela Vale, sendo CBR >2% e expansão <4%.

Além disso, os materiais explorados deverão ser pré-classificados de modo a serem empregados conforme a “nobreza” de suas características. Sendo assim, materiais mais arenosos ou siltoso com CBRs baixos deverão

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 91/101
		Nº EGT	VR19A-S1R-00-005	REV. 1

ser destinados ao corpo do aterro, materiais mais argilosos e menos erosivos deverão ser destinados à cobertura de proteção do aterro e solos lateríticos e com CBRs altos serão utilizados nas últimas camadas de aterro e que servirão de subleito para a ferrovia.

A especificação mais detalhada de como estes materiais deverão ser trabalhados, desde a extração na jazida até a utilização no corpo estradal, encontra-se nas especificações de terraplanagem - ET-2500KF-B-0000.

Nos itens que se seguem serão reunidos os resultados dos ensaios de caracterização, modo a fornecer uma avaliação do material disponível.

Lado de São Félix

Foram estudadas 4 áreas posicionadas à esquerda a ferrovia conforme ilustra a figura a seguir:

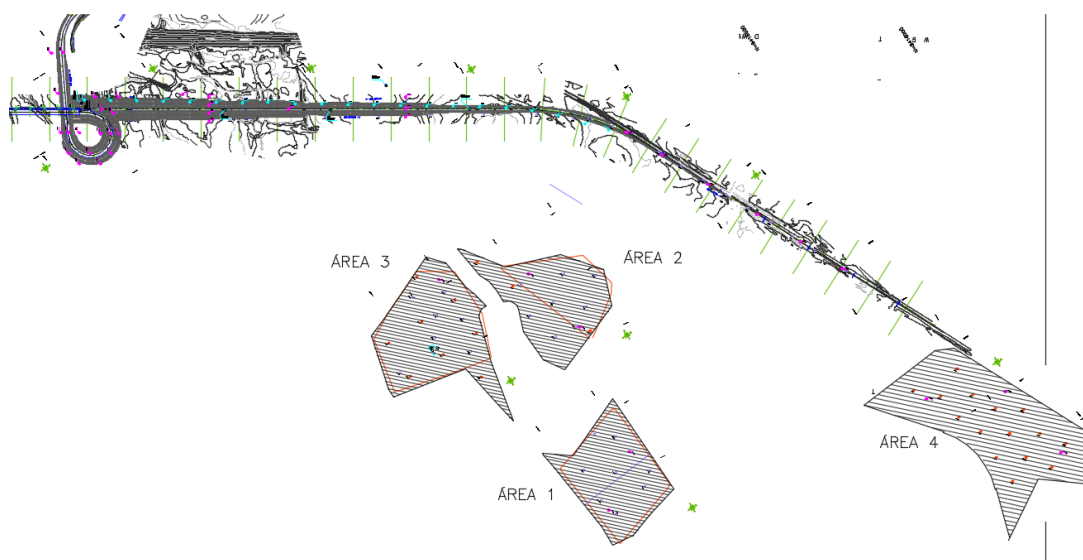




Figura 13. 1: Área de empréstimo – lado São Félix

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 92/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1



Os dos ensaios de caracterização executados para avaliar as áreas 1 a 4 estão agrupados no relatório RL-2500KF-X-50005 e os resultados dos mesmos serão apresentados a seguir:

Para facilitar a interpretação dos dados a coluna “**CBR**” foi destacada com cores, sendo:

5. Vermelho para CBRs menores que 5%
6. Amarelos para $5 < \text{CBR} < 10\%$
7. Verde para $\text{CBR} > 10\%$



Na coluna “**umidade natural**” o valor foi destacado em vermelho quando a umidade natural está mais que 2% acima da umidade ótima de compactação.

Área 1:

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	93/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

FURO	ÁREA	PROFUNDIDADE	UMIDADE NATURAL	DENS. NAT. (KN/m³)	LL	LP	IP	Mass específica de sólidos (g/cm³)	Granulo-met	COMPACTAÇÃO		CBR		classif. HRB	IG	FH	FH (m)
										KN/m²	Wot. %	CBR (%)	expansão (%)				
SPP-11	A1	0,25 A 1,75	8.90%	17.5	NL	NP	-		Areia Siltosa	18.54	11.00%	19	0.01	A-2-4	0	1.059	
SPP-12	A1	0,20 A 1,75	9.40%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.78	8.30%	13.7	0.01	A-2-4	0	-	
SPP-13	A1	0,10 A 1,30	10.00%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.43	9.00%	9.1	0.01	A-2-4	0	-	
SPP-14	A1	0,15 A 1,15	7.60%	15.9	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.80	9.20%	26.4	0.01	A-2-4	0	1.245	
SPP-15	A1	0,15 A 2,00	9.50%	18.04	NL	NP	-			20.05	9.20%	15	0.01	A-2-4	0	1.111	
SPP-15 A	A1	0,20 A 1,80	9.10%	17.79	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.29	8.90%	11.5	0.01	A-2-4	0	1.084	
ST-222 AM01	A1	0,22 A 1,00	5.22%	-	NP	NP		2.667	Areia	18.55	5.40%	15.7	0.05	A-2-4	0	-	
ST-222 AM02	A1	1,00 A 2,00 M	10.54%	-	12.95%	10.71%	2.24%	2.694	Areia Siltosa	19.65	6.97%	43.3	0.05	A-2-4	0	-	
ST-223 AM01	A1	0,20 a 1,00	11.12%	-	NP	NP		2.673	Areia	18.74	5.30%	18.7	0.05	A-2-4	0	-	1.25
ST-224	A1	0,18 a 2,00 M	9.55%	-	NP	NP	-	2.631	Areia	19.30	5.37%	34.6	0.03	A-2-4	0	-	
ST-225 AM01	A1	0,15 A 100 M	10.49%	-	NP	NP		2.67	Areia	19.76	6.75%	36.7	0.02	A-2-4	0	-	
ST-225 AM02	A1	1,00 A 2,00 M	18.02%	-	15.35%	9.29%	6.06%	2.693	Areia Siltosa	20.03	8.00%	52	0	A-2-4	0	-	
ST-226	A1	0,11 A 2,00 M	17.75%	-	26.22%	16.93%	9.29%	2.631	Argila Siltosa	17.76	14.28%	7.04	1.46	A-4	7	-	
ST-227	A1	0	4.99%	-	NP	NP		2.677	Areia	17.55	4.31%	7.47	0	A-2-4	0	-	
ST-228 AM1	A1	1,12 A 2,00 M	5.44%	-	NP	NP	-	2.675	Areia	17.80	4.30%	4.85	0	A-2-4	0	-	
ST-228 AM2	A1	0,16 a 2,00 M	5.90%	-	NP	NP	-	2.655	Areia	18.36	6.85%	20.9	0	A-2-4	0	-	
ST-229	A1	0,10 a 2,00 M	3.64%	-	NP	NP	-	2.636	Areia	19.16	7.60%	40.1	0.01	A-2-4	0	-	
ST-230	A1	0,17 a 2,00 M	3.31%	-	NP	NP	-	2.641	Areia	19.17	6.94%	46.4	0.04	A-2-4	0	-	
ST-233 AM02	A1	1,00 A 2,00 M	8.59%	-	NP	NP		2.693	Areia Siltosa	18.30	3.26%	4.42	-0.01	A-2-4	0	-	



Tabela 13. 1: Ensaios de caracterização dos solo de empréstimo – São Félix Área 1

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	94/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

Área 2:

FURO	ÁREA	PROFUNDIDADE	UMIDADE NATURAL	DENS. NAT. (KN/m³)	LL	LP	IP	Mass específica de sólidos (g/cm³)	Granulo-met	COMPACTAÇÃO		CBR		classif.	HRB	IG	FH	FH (m)
										KN/m²	Wot. %	CBR (%)	expansão (%)					
SPP-06	A2	1,00 A 2,00 M	9.40%	-	NL	NP	-		Areia Siltosa	19.06	10.06%	11.4	0.01	A-2-4	0	-		
SPP-07	A2	0,80 A 1,20	9.40%	-	NL		NP		Areia Siltosa	19.16	9.00%	17.3	0.01	A-2-4	0	-		
SPP-08	A2	0,00 A 2,00	6.40%	-	NL	NP	-		Areia Siltosa	17.30	7.50%	3.6	0.01	A-2-4	0	-		
SPP-09	A2	0,15 a 2,00 M	6.40%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.70	8.50%	17.3	0.01	A-4	2	-		
SPP-10	A2	0,15 a 2,00 M	6.40%	-	NL	NP			-	18.77	10.4%	10.6	0.01	A-2-4	0	-		
SSP-10A	A2	1,00 A 2,00 M	11.00%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.33	9.40%	23.2	0.01	A-2-4	0	-		
SSP-10B	A2	0,20 A 2,00	11.60%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.77	8.60%	5.9	0.01	A-2-4	0	-		
SSP10C	A2	0,20 A 2,00	25.20%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	14.76	24.90%	2.1	0.72	A-2-4	0	-		
ST-206 AM1	A2	0,19 a 2,00 M	4.65%	-	NP	NP	-	2.672	Areia	17.74	3.08%	7.88	0	A-3	0	-		
ST-206 AM2	A2	1,00 A 2,00 M	8.61%	-	NP	NP	-	2.68	Areia	19.23	4.84%	31.25	0.65	A-2-4	A	-		1.25
ST-207	A2	0,25 a 2,00 M	8.90%	-	NP	NP	-	2.633	Areia	-	-	11.85	0.65	A-2-4	0	-		
ST-209	A2	0,23 a 2,00 M	7.62%	-	NP	NP	NP	2.7	Areia	18.89	7.10%	40.2	0	XXXXX	XXXXX	-		
ST-210 AM1	A2	0,15 a 1,08 M	7.85%	-	NP	NP	NP	2.673	Solo arenoso	17.23	5.50%	12.5	0	A-2-4	0	-		
ST-210 AM2	A2	1,08 a 2,00 M	12.44%	-	NP	NP	NP	2.684	Areia	17.38	4.42%	5.38	0	A-2-4	0	-		
ST-211 AM1	A2	0,12 a 1,00 M	6.47%	-	NP	NP	-	2.693	Areia	17.82	5.01%	13.41	0.02	A-2-4	0	-		
ST-211 AM2	A2	1,00 A 2,00 M	11.38%	-	NP	NP	-	2.652	Areia	17.90	3.45%	6.87	0	A-3	0	-		
ST-212 AM1	A2	0,10 a 1,00 M	5.12%	-	NP	NP	-		Areia	17.26	3.38%	6.84	-0.2	A-2-4	0	-		
ST-213 AM1	A2	0,18 a 1,05 M	7.11%	-	NP	NP	NP	2.691	Areia	17.58	4.97%	11.5	0	A-2-4	0	-		
ST-213 AM2	A2	0,18 a 1,05 M	9.73%	-	NP	NP	NP	2.674	Solo arenoso	17.58	3.63%	4.46	0	A-2-4	0	-		



Tabela 13. 2: Ensaios de caracterização dos solo de empréstimo – São Félix Área 2

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
		INTERNO		
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE	PÁGINA	
		RL-2500KF-C-50002	95/101	
		Nº EGT	REV.	
		VR19A-S1R-00-005	1	

Área 3:

FURO	ÁREA	PROFUNDIDADE	UMIDADE NATURAL	DENS. NAT. (KN/m³)	LL	LP	IP	Mass específica de sólidos (g/cm³)	Granulo-met	COMPACTAÇÃO		CBR		classif.	IG	FH	FH owl
										KN/m²	Wot. %	CBR (%)	expansão (%)				
SP-218 AM01	A3	0,18 A 1,00	7.13%	-	NP	NP		2.688	Areia	19.24	6.24%	23.7	0.03	A-2-4	0	-	
SP-218 AM02	A3	1,00 A 2,00 M	14.04%	-	NP	NP		2.697	Areia	19.40	5.57%	30.8	0.07	A-2-4	0	-	
SP-219 AM01	A3	0,12 a 1,00 M	6.19%	-	13.38%	9.88%	3.50%	2.663	Areia Siltosa	19.32	6.84%	29.56	0.06	A-1-a	0	-	
SP-219 AM02	A3	1,00 A 2,00 M	13.98%	-	16.60%	10.36%	6.24%	2.67	Areia Siltosa	19.95	7.40%	31.3	0.04	A-2-4	0	-	
SPP-01	A3	0,02 A 1,20	12.30%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	17.52	14.70%	3.7	0.11	A-4	0	-	
SPP-02	A3	0,15 a 2,00 M	13.30%	17.15	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.48	10.50%	7.4	0.01	A-4	0	1.136	
SSP-03	A3	0,20 A 1,80	11.10%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.13	9.30%	16.8	0.01	A-2-4	0	-	
SSP-04	A3	0,15 A 1,15	7.60%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.45	9.00%	17.5	0.01	A-4	0	-	
SSP-05	A3	0,10 A 1,20	12.70%	16.54	NL	NP	-			18.90	11.50%	10.8	0.01	A-4	1	1.143	
SSP-05A	A3	0,85 A 2,00	13.10%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.84	9.00%	13.1	0.01	A-2-4	0	-	
SSP-05B	A3	0,02 A2,00	13.10%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	17.88	13.60%	4.3	0.06	A-4	1	-	
ST-214 AM1	A3	0,25 A 1,00 M	3.16%	-	NP	NP	NP	2.671	Solo arenoso	18.56	6.40%	19.7	0.02	A-2-4	0	-	1.25
ST-214 AM2	A3	0,25 a 2,00 M	3.16%	-	NP	NP	-	2.671	Areia	18.56	6.40%	19.7	0.02	A-2-4	0	-	
ST-215 AM01	A3	0,14 A 1,00	5.37%	-	NP	NP		2.688	Areia	18.12	5.50%	15.25	0.15	A-2-4	0	-	
ST-215 AM02	A3	1,00 A 2,00 M	12.62%	-	18.18%	11.99%	6.19%	2.737	Areia Argilosa	19.20	9.00%	3.95	2.3	A-2-4	0	-	
ST-216	A3	0,15 A 2,00 M	6.41%	-	NP	NP	-	2.646	Areia	18.17	4.28%	11.6	0.02	A-2-4	0	-	
ST-217	A3	0,16 A1,00	6.31%	-	NP	NP		2.666	Areia	18.66	5.53%	15.3	0.02	A-2-4	0	-	
ST-220 AM01	A3	0,14 A 1,00	6.05%	-	NP	NP		2.688	Areia	17.97	3.39%	8.3	-0.06	A-2-4	0	-	
ST-220 AM02	A3	1,00 A 2,00 M	9.03%	-	NP	NP		2.688	Areia	18.64	3.75%	6.22	0	A-1-a	0	-	
ST-221 AM01	A3	0,10 a 1,00 M	4.43%	-	NP	NP		2.692	Areia	18.43	3.73%	7.1	0.02	A-2-4	0	-	
ST-221 AM02	A3	1,00 A 2,00 M	15.31%	-	21.45%	11.85%	9.60%	2.75	Areia Argilosa	18.63	12.01%	5.3	2.24	A-4	3	-	

Tabela 13. 3: Ensaios de caracterização dos solo de empréstimo – São Félix Área 3

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 96/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

Área 4

FURO	ÁREA	PROFUNDIDADE	UMIDADE NATURAL	DENS. NAT. (KN/m³)	LL	LP	IP	Mass específica de sólidos (g/cm³)	Granulo-met	COMPACTAÇÃO		CBR		classif. HRB	IG	FH	FH DN
										KN/m²	Wot. %	CBR (%)	expansão (%)				
ST-200	A4	0,20 a 2,00 M	11.70%	-	NP	NP	NP	2.664	Argila Siltosa	18.10	7.25%	25.6	0.05	xxxxx	xxxxx	-	-
ST-204	A4	0,23 A 2,00 M	9.85%	-	16.73%	11.39%	5.34%	2.68	Areia Argiloso								
ST-202	A4	0,18 a 2,00 M	10.64%	-	NP	NP	NP	2.702	Areia Argilosa	18.96	7.70%	41.7	0.05	-	-	-	-
ST-204 E	A4	0,25 a 2,00 M	7.84%	-	NP	NP	-	2.631	Areia	19.36	7.88%	11.85	0.65	A-2-4	0	-	-
ST-201	A4	0,20 a 2,00 M	11.35%	-	17.35%	11.51%	5.84%	2.689	Argila Siltosa	18.56	8.25%	32.00	0.1	xxxxx	xxxxx	-	-
ST-204 I	A4	0,18 a 2,00 M	8.65%	-	NP	11.36%	-	2.666	Areia	19.38	8.91%	11.85	0.65	A-2-4	0	-	-
ST-204 G	A4	0,25 a 2,00 M	9.31%	-	NP	NP	NP	2.684	Areia	19.58	8.93%	33.2	0.04	A-2-4	xxxx	-	-
ST-204 C	A4	0,15 a 2,00 M	9.26%	-	NP	NP	NP	2.692	Areia Argilosa	18.78	8.95%	34.5	0.04	A-1-b	0	-	-
ST-204 F	A4	0,20 a 2,00 M	9.19%	-	NP	NP	NP	2.693	Areia	19.05	9.27%	43	0.03	xxxx	xxxx	-	-
ST-204 D	A4	0,20 a 2,00 M	11.21%	-	15.43%	11.45%	3.98%	2.691	Areia Argilosa	19.23	9.30%	36.55	0.13	A-2-4	0	-	-
ST-204 H	A4	0,18 a 2,00 M	8.66%	-	16.75%	11.36%	5.39%	2.673	Areia Argilosa	18.75	9.40%	13.2	0.2	A-2-4	0	-	-
ST-203	A4	0,30 a 2,00 M	10.64%	-	NP	NP	NP	2.685	Areia Argilosa	19.28	9.42%	19.25	0.05	-	-	-	-
ST-204 A	A4	0,15 a 2,00 M	10.96%	-	13.10%	11.18%	1.92%	2.679	Areia	19.06	9.90%	33	0.14	A-2-4	0	-	-
ST-204	A4	0,10 a 2,00 M	12.94%	-	16.45%	12.49%	3.96%	2.672	Areia Argilosa	19.05	10.00%	25	0	A-2-4	0	-	-
ST-204 B	A4	0,20 a 2,00 M	11.03%	-	17.10%	10.59%	6.51%	2.696	Areia Argilosa	18.35	10.00%	14.8	0.27	A-2-4	0	-	-



Tabela 13. 4: Ensaios de caracterização dos solo de empréstimo – São Félix área 4

Como se pode observar, o material que se pretende explorar como empréstimo é de predominância arenosa, não expansiva e com índices CBRs médios de 20%. Tais característica permitem afirmar que o solo é adequado para a execução dos aterros.

Quanto ao fator de homogeneização (FH = Volume de corte /volume de aterro), deve-se observar que se têm pouco pontos onde a determinação da densidade natural foi feita, além disso, nestes pontos o valor de FH varia entre 1,05 a 1,24, de modo que recomendamos adotar o valor especificado pela Instrução de Serviço Ferroviário (ISF-211) do DNIT para material de primeira categoria, ou seja:1,25.



No que tange a particularidade de cada área temos:

Área	Média das	% das	% das	% das
	determinações	amostras com	amostras com	amostras com

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 97/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

	de Umidade ótima	CBR <5%	5%<CBR <10%	CBR >10%
1	7,4%	10%	15%	75%
2	7,2%	16%	26%	58%
3	7,8%	15%	24%	62%
4	8,9%	-	-	100%

Tabela 13. 5: Resumo dos ensaios de caracterização

		CLASSIFICAÇÃO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	
		INTERNO	L2040	
PROJETO DETALHADO			Nº VALE	PÁGINA
FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361)			RL-2500KF-C-50002	98/101
PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS			Nº EGT	REV.
RELATÓRIO GEOTÉCNICO			VR19A-S1R-00-005	1
RELATÓRIO TÉCNICO				

Nas áreas 1 e 2, embora o material tenha apresentado características adequadas, há que se considerar que são áreas próximas à regiões de baixada, de modo que ambas apresentam um material com teor de umidade mais elevado. Sendo assim, sua utilização exigirá a secagem prévia através de gradeamento, além disso, o potencial de exploração é pequeno de modo que estas áreas serão, a princípio preteridas, sendo empregado apenas as áreas 3 e 4

Na área 3 um pouco menos que 40% do material ensaiado apresentou CBRs entre 3,7 e 10%, conforme mostrado na tabela abaixo:



FURO	ÁREA	PROFUNDIDADE	UMIDADE NATURA	DENS. NAT. (KN/m ³)	LL	LP	IP	Mass específica de sólidos (g/cm ³)	Granulo-met	KN/m ²	Wot. %	CBR (%)	expansão (%)	classif. HRB	IG	FH
SPP-01	A3	0,02 A 1,20	12.30%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	17.52	14.70%	3.7	0.11	A-4	0	-
ST-215 AM02	A3	1,00 A 2,00 M	12.62%	-	18.18%	11.99%	6.19%	2.737	Areia Argilosa	19.20	9.00%	3.95	2.3	A-2-4	0	-
SSP-05B	A3	0,02 A 2,00	13.10%	-	NL	NP	-		Areia Argilosa	17.88	13.60%	4.3	0.06	A-4	1	-
ST-221 AM02	A3	1,00 A 2,00 M	15.31%	-	21.45%	11.85%	9.60%	2.75	Areia Argilosa	18.63	12.01%	5.3	2.24	A-4	3	-
ST-220 AM02	A3	1,00 A 2,00 M	9.03%	-	NP	NP		2.688	Areia	18.64	3.75%	6.22	0	A-1-a	0	-
ST-221 AM01	A3	0,10 a 1,00 M	4.43%	-	NP	NP		2.692	Areia	18.43	3.73%	7.1	0.02	A-2-4	0	-
SPP-02	A3	0,15 a 2,00 M	13.30%	17.15	NL	NP	-		Areia Argilosa	19.48	10.50%	7.4	0.01	A-4	0	1.136
ST-220 AM01	A3	0,14 A 1,00	6.05%	-	NP	NP		2.688	Areia	17.97	3.39%	8.3	-0.06	A-2-4	0	-

Estas sondagens não estão concentradas em áreas específicas da Área 3, elas estão misturadas as demais sondagens cujos valores de CBR deram acima de 10%. Dessa forma não se pode diferenciar a região onde o solo é mais nobre da região onde é menos nobre, sendo assim, a área deverá ser destinada a execução do copo no aterro.

Na área 4 o material tem consistentemente valores de CBR maiores que 10%, portanto, além de servir para o corpo do aterro também poderá ser destinado a execução do subleito da ferroviário.

Deve-se ressaltar que das áreas avaliadas, em nenhuma delas foi observado material adequado para a execução das faces dos taludes.

Sendo assim, para os aterros das faces dos taludes, que serão feitos com sobre largura e depois parcialmente removidos para a aplicação de cobertura vegetal, deverá ser importado solo mais argiloso ou laterítico cujas especificações atendam aos critérios estabelecidos na especificação de terraplanagem - ET-2500KF-B-0000, ou,

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 99/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1



alternativamente, poderá ser empregado mistura de solo-cimento conforme especificado no mesmo documento.

Por fim, os maiores detalhes referentes ao plano de utilização das áreas de empréstimo poderão ser obtidos nos projetos 2540KF-B-50848_Ref02_0 e 2540KF-B-50849_Ref02_0.

Lado de Marabá

Foram feitos ensaios de caracterização em alguns pontos espaçados da lateral esquerda da Ferrovia e nas áreas onde serão instalados os canteiros de obra MA-01, MA-02 e MA-03.

Os resultados dos ensaios são apresentados na planilha que se segue:



		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 100/101
		Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

FURO	ÁREA	PROFUNDIDADE	UMIDADE NATURA	LL	LP	IP	Granulo-metr	COMPACTAÇÃO		CBR		classif. HRB	IG
								KN/m³	Wot.%	CBR (%)	expansão (%)		
SSP-56	MA-02	0,30 A 1,70	19,40%	46,10%	19,80%	-	Argila Siltosa	19,7	15,54%	21,3	1,3	A-7-6	13
ST-121	MA-01	0,20 A 1,50	19,70%	31,90%	15,30%	-	Argila Siltosa	17,44	17,80%	7,5	0,48	A-6	7
SSP-41	km 728+120	0,20 A 1,80	19,90%	29,20%	12,90%	-	Areia Argilosa	15,35	20,50%	5,6	0,85	A-6	5
ST-17	MA-02	0,15 A 0,60	26,20%	54,30%	24,30%	-	Argila Siltosa	15,78	25,80%	5,2	3,2	A-7-5	15
SPP-37	km 727+600	0,60 A 1,30	20,20%	48,3	21,00%	-	Argila Siltosa	15,24	22,30%	4,7	1,19	A-7-6	13
SSP-39	km 727+970	0,30 A 1,80	24,10%	46,30%	22,20%	-	Argila Siltosa	15,36	25,80%	3,3	0,52	A-7-6	14
SSP-38	MA-02	0,40 A 2,00	20,10%	NL	NP	-	Argila Arenosa	16,9	19,90%	3,1	2,02	A-4	7
ST-18	MA-02	0,10 A 2,50	29,20%	42,80%	20,50%	-	Argila Siltosa	15,33	25,00%	3,1	4,3	A-7-6	13
SSP-50	km 727+100	0,70 A 1,30	20,80%	44,20%	19,70%	-	Argila Siltosa	15,63	21,20%	2,4	1,9	A-7-6	13
SSP-49	km 727+180	0,45 A 1,70	27,00%	29,00%	13,70%	-	Areia Argilosa	15,93	25,20%	1,8	2,24	A-5	5
SSP-40	MA-02	0,40 A 1,80	18,80%	26,90%	11,10%	-	Areia Argilosa	15,35	20,50%	1,7	2,86	A-6	8
SSP-42	km 728+080	0,30 A 1,70	20,30%	42,80%	19,20%	-	Argila Siltosa	15,64	20,90%	1,5	1,28	A-7-6	12
SSP-53	MA-01	0,20 A 1,80	17,50%	43,70%	18,30%	-	Argila Siltosa	15,76	19,10%	1,4	4,91	A-7-6	11
SSP-54	km 727+540	0,35 A 1,80	21,40%	51,80%	24,80%	-	Argil Siltosa	15,44	23,70%	1,4	4,14	A-7-6	16
SSP-58	km 727+540	0,40 A 1,70	17,20%	44,90%	17,20%	-	Argila Siltosa	17,15	19,90%	1,4	3,33	A-7-6	12
SSP-48	km 727+100	0,40 A 1,80	22,00%	47,50%	21,00%	-	Silte Argiloso	15,61	20,50%	1,2	2,64	A-7-6	14
SSP-51	MA-01	0,35 A 1,70	17,40%	44,80%	20,20%	-	Argila Siltosa	16,67	19,60%	1	4,54	A-7-6	13
SSP-55	MA-02		19,70%	49,90%	21,80%	-	Argil Siltosa	15,54	21,60%	0,7	5,34	A-7-6	15
SSP-57	km 727+500	0,30 A 1,70	13,70%	NL	NP	-	Argila Siltosa	15,93	14,70%	0,6	5,63	A-4	8



Tabela 13. 6: Ensaio de caracterização dos solo de empréstimo – Marabá

Como se pode observar, o material deste lado é predominantemente argiloso e cerca de metade das determinações de CBR deram valores abaixo do admissível, além disso, o solo se mostrou expansivo, as células pintadas em roxo destacam estes resultados.

Na outra metade dos ensaios os índices CBR e de expansão ficaram próximo dos limites aceitáveis (CBR>2% e expansão <4%), as células em vermelho destacam isso. Ocorre que estas sondagens estão entremeadas a demais, que deram resultados impróprios, portanto este material não é adequado para na execução dos aterros, e o volume escavado nesta região deverá ser destinado às áreas para deposição de materiais excedentes (ADME).

		CLASSIFICAÇÃO INTERNO	NOVA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS L2040	
PROJETO DETALHADO FERROVIA - (KM 541,05 A KM 891,361) PONTE RODOFERROVIÁRIA SOBRE O RIO TOCANTINS RELATÓRIO GEOTÉCNICO RELATÓRIO TÉCNICO			Nº VALE RL-2500KF-C-50002	PÁGINA 101/101
			Nº EGT VR19A-S1R-00-005	REV. 1

ANEXOS

 2520KF-X-50019_Re v_A.dwg	ANEXO 1 – ÁREA DE TROCA DE SOLO EM SÃO FÉLIX Formato: Autocad 1 folha
 2540KF-X-50026_Re v_A.dwg	ANEXO 2 – ÁREA DE TROCA DE SOLO EM marabá Formato: Autocad 1 folha