

Avaliação de Aspectos Geotécnicos para Rodovias: Estudo de Caso do Projeto de Interseção da Rodovia SC-405 com a Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga

Fernando Feitosa Monteiro
Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, engffmonteiro@gmail.com

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, heber@det.ufc.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosfpa@hotmail.com

Mirna Katiúcia Rijo Lima
Instituto Brasileiro de Educação Continuada, Maceió, Brasil, mirnarijo@gmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso da elaboração do projeto de interseção da Rodovia SC-405 com a Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga, localizadas no município de Florianópolis, no estado de Santa Catarina, onde foi verificada a existência de solos compressíveis e a necessidade de uma solução geotécnica para a implantação da obra de arte especial. Dentre as soluções estudadas, destacam-se: a construção de bermas de equilíbrio, remoção de camadas de solos moles, utilização de drenos verticais para aceleração de recalques e aplicação de aterros leves. No estudo de caso, demonstrou-se a situação atual relacionada a problemas de mobilidade, assim como a caracterização do local por intermédio do mapa topográfico, projeto geométrico proposto para a interseção e estudos geológicos, com base em observações em campo e análise dos resultados das sondagens. No projeto geotécnico foram descritas as soluções para viabilizar a construção da obra de arte especial, baseadas nos estudos geotécnicos e geológicos e análises de estabilidade da contenção adotada. Das soluções estudadas, adotou-se o prolongamento da obra de arte especial, contenção de muro de terra armada, e remoção do solo compressível existente no local do viaduto.

PALAVRAS-CHAVE: Terra armada, Contenções, Rodovias.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo de caso do projeto de interseção da Rodovia SC-405 e a da Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga, no bairro Rio Tavares, no município de Florianópolis - SC. Sendo estas rodovias umas das principais vias de acesso aos bairros da zona sul e central

da cidade. Este entroncamento apresenta problemas de mobilidade, principalmente congestionamentos, necessitando a execução de projetos que atendam essas necessidades.

Para viabilizar a realização obra do viaduto na interseção do Rio Tavares, foram estudadas duas opções: o prolongamento da obra de arte especial, de modo que as fundações fossem

construídas nos locais de solos mais resistentes ou a utilização de aterro ultraleve, que substitui o aterro convencional com solo, por blocos de Expanded Polyesterene Blocks (EPS).

2 ATERRO SOBRE SOLOS MOLES

Solos moles ou solos compressíveis, são aqueles compostos geralmente por matérias orgânicas, com alta plasticidade, cuja a composição é predominantemente argilosa e valor do N_{SPT} situado entre 3 e 5. Para aqueles com valores de N_{SPT} entre 0 e 2, são considerados muito moles (ABNT, 2001).

Segundo o DNER (1998), solos orgânicos são classificados como aqueles que apresentam limite de liquidez de uma amostra seca em estufa menor do que 75% do limite de liquidez de amostra natural sem secagem em estufa. Nas regiões com ocorrência de solos moles, a execução de obras rodoviárias torna-se um desafio, seja no início da obra, pela falta de estabilidade e na fase operacional, devido o recalque ao longo do tempo.

Para a construção de aterros sobre solos moles, existem diversos métodos construtivos e tecnologias de reforço do solo, como a aplicação de geossintéticos, a construção de bermas para a estabilização e a remoção da camada de solo mole. Os principais desafios para a execução da obra, devido ao solo ser compressível, se dá pelas seguintes razões: falta de suporte do solo, recalque ao longo do tempo, amolgamento da superfície do terreno e riscos de ruptura durante a construção, entre outros (ALMEIDA e MARQUES, 2010).

Assim, é recomendável a identificação topográfica da área a ser trabalhada, execução das investigações geotécnicas, para o mapeamento geológico-geotécnico, a fim de elaborar um projeto viável. Outras análises devem ser realizadas, desde a geometria, alternativas de custos de serviços, disponibilidade de materiais, fatores ambientais,

como clima, umidade, e verificação da estabilidade de aterros.

Segundo Almeida e Marques (2010), a escolha do método construtivo mais adequado está associado a diversas questões: características geotécnicas dos depósitos; utilização da área, incluindo a vizinhança; prazos construtivos e custos envolvidos. Existem diversos métodos construtivos para aterros sobre solos moles, entre eles destacam-se: remoção do solo mole, aterros com berma, aterros sobre drenos verticais e aterros leves.

A retirada total ou parcial do solo mole, depende da sua camada existente, considerando a espessura até 7m. São utilizados dragas ou escavadeiras, seguida pela colocação do aterro. Entretanto, os custos são altos, necessitando assim, de uma comparação com outras alternativas para a construção. A execução de bermas de equilíbrio é uma solução adotada para aumentar a segurança contra ruptura, pois diminui a inclinação média de um talude do aterro (Figura 1).

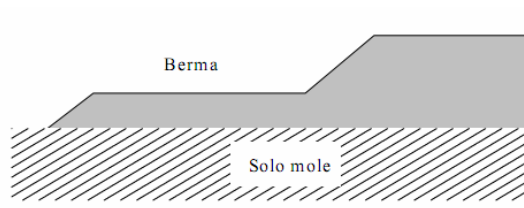


Figura 1. Berma de equilíbrio

A utilização de drenos verticais auxilia na aceleração dos recalques, executando inicialmente uma camada drenante e aplicação dos geodrenos, que são cravados no solo, seguido pela execução do corpo do aterro, conforme a Figura 2.

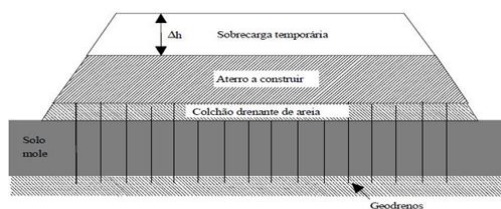


Figura 2. Tratamento de fundação com geodreno e sobrecarga temporária

A utilização de materiais leves no corpo de aterro melhora a estabilidade e permite a execução rápida da obra. São utilizados blocos de EPS (Expanded Polysterene Blocks), que substituem o solo, os quais possuem peso específico menor que outros materiais empregados neste tipo de aterro. Vale ressaltar a importância de verificar o nível do lençol freático na área do aterro, visto que a presença de água provoca a flutuação dos blocos e ocasionado sérios transtornos à obra (ALMEIDA e MARQUES, 2010).

3 METODOLOGIA

A área em estudo localiza-se no sul de Florianópolis, no entroncamento entre a Rodovia SC-405 e a Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga, no bairro Rio Tavares, permitindo o acesso aos bairros do Campeche, Ribeirão da Ilha, Tapera e as praias do sul de Florianópolis, via Rodovia SC-505. Seguindo a rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga acessa-se Rio Tavares, Lagoa da Conceição, seguindo em direção a região do norte da Ilha. A Figura 3 mostra o mapa de situação da interseção de Rio Tavares.



Figura 3. Localização da interseção

O entroncamento apresenta atualmente uma configuração em nível composta por três ramos. Para cada ramo, duas faixas, com exceção da faixa no sentido Centro-Bairro, que possui três faixas com canteiros delimitados por tachões refletivos. Os ramos Entroncamento - Rio

Tavares (Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga) e Entroncamento - Ribeirão da Ilha (SC 405) apresentam pista com duas faixas de tráfego, enquanto que o ramo Entroncamento - Centro teve recentemente ampliada a seção da pista para três faixas de tráfego, com fluxo alternativo conforme a necessidade. Observa-se problemas de mobilidade em horários com elevado fluxo de automóveis, gerando longas filas, notadamente no ramo Ribeirão da Ilha sentido centro.

3.1 Investigações geotécnicas

A partir dos ensaios de campo (SPT e DPL) realizou-se a identificação dos materiais do subleito, bem como uma avaliação qualitativa e quantitativa dos materiais ocorrentes na região, tendo em vista a sua utilização na terraplenagem, além de pesquisa dos materiais a serem utilizados para a estrutura das camadas do pavimento e para obras de arte correntes para o Projeto Executivo da Interseção da Rodovia SC-405 e da Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga no município de Florianópolis-SC.

Nos locais selecionados, foram executadas 2 sondagens com uso de escavadeira, com o objetivo de coletar amostras para ensaios de laboratório. Com estas amostras foram efetuados 2 ensaios em laboratório, caracterizando-as e avaliando seu índice de suporte (ISC) e expansão. O número baixo de ensaios se da ao fato da grande ocorrência de afloramento de rocha na região, principalmente no lado direito dos eixos 1 e 4.

Foram realizados também, outras 22 sondagens utilizando o penetrômetro dinâmico leve (DPL), a fim de verificar possíveis ocorrências de solos inservíveis e determinar o contato solo-rocha, bem como 3 sondagens a percussão (SPT) com o objetivo de estudar as fundações da obra de arte especial (OAE). Entretanto, neste trabalho serão apresentados apenas as sondagens realizadas área em estudo, as quais

se referem as sondagens executadas ao longo dos eixos 1, 2 e 4, como mostra a Figura 4.

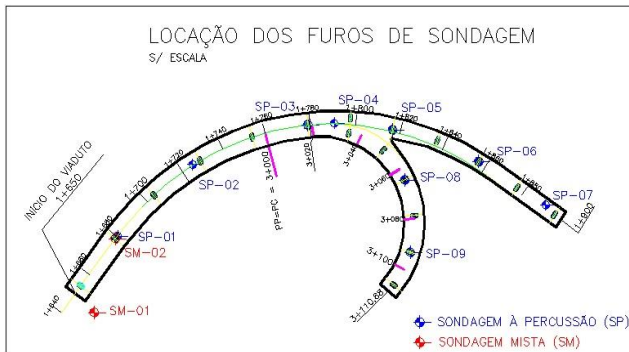


Figura 4. Localização dos furos de sondagem na OAE

A Figura 5 apresenta os resultados dos ensaios de sondagem a percussão realizados na AOE, bem como o valor médio do N_{SPT} e coeficiente de variação (CV) variando com a profundidade. Verifica-se a existência de uma camada com 7 m de espessura de argila orgânica, seguida por uma extensa camada de areia argilosa compacta. Nos primeiros metros observa-se valores baixos de N_{SPT} , ocorrendo um acréscimo a medida que o horizonte de areia argilosa é atingido.

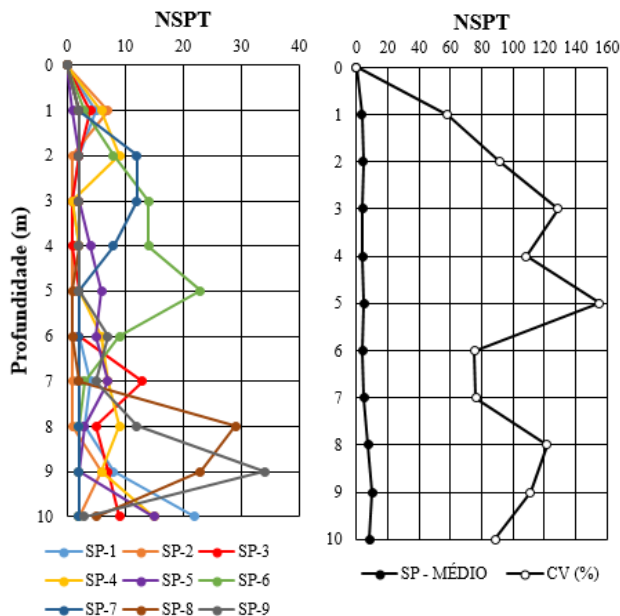


Figura 5. Variação do N_{SPT} com a profundidade

As sondagens SP-6 e SP-7 apresentam valores elevados de N_{SPT} nas camadas iniciais, ocasionando uma grande faixa de variação dos

valores de N_{SPT} ao longo da profundidade. A curva de valores médios apresenta valores de N_{SPT} abaixo de 5 até uma profundidade de 7 m. O nível do lençol freático encontra-se a uma profundidade de 0,72 m. A Figura 6 exibe as amostras recuperadas do ensaio de sondagem mista.



SM - 1
 SM - 2
 Figura 6. Amostras das sondagens mistas

O RQD variou entre 96 e 100%, indicando que o maciço rochoso no qual a obra de arte especial será executada possui uma qualidade de rocha excelente.

3.2 Estudos geológicos

O Estudo Geológico da interseção da Rodovia SC-405 e a Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga, no município de Florianópolis, foi realizado através de investigações de campo e para caracterização da geologia e estratigrafia adotou-se o Mapa Geológico da região do bairro Rio Tavares, na escala 1:100.000.

O estudo geológico foi elaborado seguindo o eixo do projeto da interseção da Rodovia SC-405 e Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga, onde foram analisadas as características dos solos existentes. O estudo apresenta elementos básicos da elaboração do projeto da OAE e contribui no aproveitamento dos materiais terraplenados e sua distribuição, além da identificação de aspectos relacionados com obras de controle de erosão e aterros sobre solos compressíveis. Observam-se os dados geométricos de um greide definido provisoriamente no projeto, tendo-se

disponível, os dados dos boletins de sondagem e os resultados dos ensaios de solos, realizados na etapa de investigações geotécnicas. O projeto de interseção da rodovia SC 405 com a rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga tem início em frente a Unidade de Pronto Atendimento do Rio Tavares. Neste trecho, o eixo projetado secciona solos coluvionares derivados do riolito, no lado direito da rodovia SC 405, que está no pé do Morro do Campeche, onde ocorre o riolito Cambirela, de acordo com a Figura 7.



Figura 7. Rodovia SC-405 - Solos coluvionares

O projeto prevê um viaduto que secciona o cruzamento da rodovia SC-405 com a rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga, onde ocorrem sedimentos quaternários. A sondagem realizada no km 01+680 detectou uma camada de silte pouco arenoso variegado até 1,87m de profundidade, uma areia fina pouco siltosa com restos marinhos, cinza claro, uma argila amarela e uma argila variegada, estando o impenetrável à 10,80m de profundidade e o nível d'água a 0,71m. Esses depósitos, a partir da descrição da sondagem, são interpretados como os sedimentos transicionais lagunares. Eles são constituídos por sedimentos arenosos marinhos, resultados da inundação e erosão de depósitos arenosos marinhos, a partir de uma oscilação temporária do nível relativo do mar. Os sedimentos arenosos são capeados por sedimentação mais fina, oriunda do estágio lagunar.

A Figura 8 exhibe a esquina a leste da rodovia, entre os km 02+275 e 02+315, onde é possível

perceber ocorrência de riolito. Neste ponto o impenetrável encontra-se a aproximadamente 2,60m de profundidade, sendo coberto por sedimentos quaternários, como encontrado na sondagem efetuada no km 02+300, a 6,50m no lado direito, composto por uma areia fina siltosa, cinza escura com pedregulhos, seguida por uma areia fina siltosa, tratando-se do solo residual do riolito.



Figura 8. Rodovia SC-405 - Riolitos

Seguindo o eixo 2 no km 02+360 na direção oeste da rodovia, verifica-se a ocorrência de solos compressíveis (Figura 9), como indicado pelas sondagens SPT, executadas para o projeto do viaduto entre os km 01+680 e 01+920.

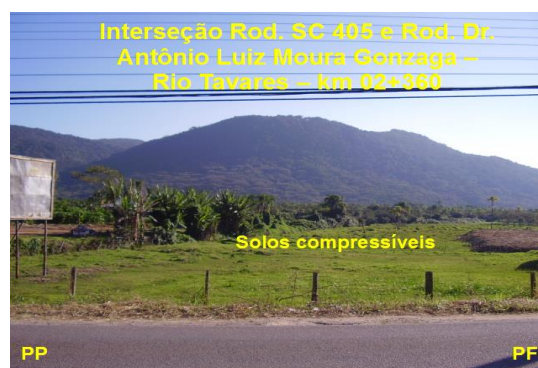


Figura 9. Rodovia SC-405 - Solos compressíveis

4 PROJETO GEOMÉTRICO E GEOTÉCNICO

Diversas alternativas foram estudadas, dentre elas, uma rotatória em nível, sendo declinada a ideia devido à grande área de abrangência, resultando em uma desapropriação significativa se comparada a outras possibilidades.

Considerando o elevado tráfego, seria necessária uma alteração nas dimensões da rotatória, gerando movimentos perdidos de grandes extensões, o que acarretaria em um elevado custo operacional, que somado à desapropriação, tornariam essa possibilidade pouco atrativa, tanto sob o aspecto técnico, quanto econômico. Dentre as possibilidades em desnível, propôs-se um viaduto sobre a rotatória e um viaduto sobre interseção com faixa central para conversões à esquerda. Ambas foram rejeitadas devido a criação de cruzamentos secundários em uma interseção em desnível, e à acessibilidade comprometida no local, principalmente no posto de serviços instalado no entorno, onde a pista principal passaria de forma elevada à sua frente. Assim, optou-se por uma configuração de trombeta, como solução mais econômica relativamente aos custos da obra e uma razoável acessibilidade no entorno, além da eliminação de cruzamentos secundários.

Definida a configuração final, tipo trombeta, verificasse a necessidade de definição para o sentido que a mesma seria direcionada, apresentando-se assim, duas possibilidades: posicionada para o lado esquerdo, solução usada em geral, ou para o lado direito, caso excepcional. O maior tráfego, sentido Ribeirão da Ilha – Centro, leva ao posicionamento para a esquerda como melhor solução técnica, porém por motivos locais, essa solução oferece dificuldades de sucesso, pois haveria a necessidade de desapropriação do posto de serviço, instalado no local, onde em tempos passados, por orientação do município, estaria instalado fora da área de abrangência de possíveis alterações nesse entroncamento. Como solução final indicou-se uma trombeta posicionada para o lado direito, com elevação da pista sentido Ribeirão da Ilha - Centro, configuração que atende os critérios de segurança e qualidade, e ao mesmo tempo minimiza áreas a serem desapropriadas.

Quanto aos ramos, mantem-se três faixas no sentido entroncamento – centro, que

independentemente da reversão, com fluxo direto no sentido Ribeirão – Centro, já que o fluxo mantem-se na faixa mais à direita. O ponto de reversão será readequado para pouco antes do local atual, fora da área de abrangência da interseção. O ramo Entroncamento – Rio Tavares, mantem-se a pista com duas faixas. O ramo Entroncamento – Ribeirão da Ilha, apresenta ampliação de sua capacidade, com acréscimo de uma faixa de tráfego por sentido, nos primeiros 600m, ou seja até o Terminal de ônibus – TIRIO, facilitando a movimentação nesse trecho que se caracteriza pela presença mais intensa de ônibus. As pistas são compostas por faixas de tráfego com 3,5m de largura. O viaduto foi projetado no entroncamento da Rodovia SC-405 com a Rodovia Dr. Luiz Moura Gonzaga, Bairro Rio Tavares, Florianópolis/SC, onde a via se desenvolve planimetricamente, parte em tangente e parte em curva circular, e altimetricamente em curva espiral. Em vista superior, o viaduto inicia com largura de 10,50m e mantem esta largura até o apoio P6, a partir do qual inicia-se um alargamento, portanto a largura torna-se variável entre os apoios P6 e P8A/P8B. Neste ponto ocorre uma bifurcação, dando-se início ao eixo 1 e eixo 3, com larguras de tabuleiro de 7,80m e 8,90m, respectivamente. O viaduto possui juntas de dilatação nos apoios P3, P6 e P8A/P8B. A extensão total do viaduto é de 250 m para o eixo 1 e 220,5 m para o eixo 3, medidos entre faces externas das transversinas de entrada (Figura 10).

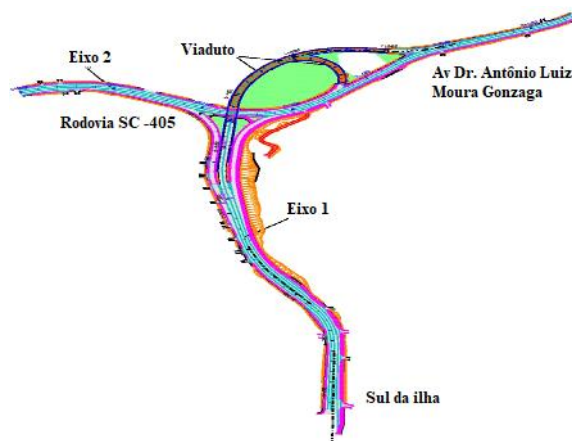


Figura 10. Projeto geométrico da interseção

A superestrutura é formada por seção celular em concreto armado. O trecho com largura de 10,50m possui quatro células de 1,00 x 1,00m, com duas longarinas junto aos bordos de largura variável e três longarinas dividindo as células, com largura constante de 0,46m e duas lajes superior e inferior de espessura 0,25m. Os trechos com largura de 8,90m e de 7,80m possuem três células de 1,00 x 1,00m, com duas longarinas junto aos bordos de largura variável e duas longarinas dividindo as células, com largura constante de 0,46m, a diferença nas duas larguras, de 8,90m e 7,80m, está nos balanços laterais das laje, ambos possuem duas lajes superior e inferior de espessura 0,25m. Foram adotadas barreiras tipo *New Jersey*, com altura de 0,87m. Os encontros têm alas de retorno de 1,80m.

Para drenagem são utilizados dois tipos de drenos: drenos em PVC, diâmetro 100mm, junto à barreira *New Jersey*, no nível mais baixo da pista e drenos PVC 50mm para extravasar a seção caixão, portanto localizados no nível mais baixo de cada célula. Adequando-se também duas pingadeiras de cada lado, nas bordas do tabuleiro. A mesoestrutura, responsável pela transmissão das cargas da super para a infraestrutura, é constituída por pilares parede, em concreto armado, que possuem seção especial. A vinculação da super e mesoestrutura é feita por meio de aparelhos de apoio elásticos de elastômero fretado. A infraestrutura, devido às características do terreno, é constituída por fundação profunda do tipo estacas raiz, coroadas por bloco de concreto armado.

Segundo o estudo geológico, na área onde estão projetadas as soluções geotécnicas, há ocorrência de riolito cambirela, o qual possui coloração em geral cinza escura e o solo residual caracterizado por materiais siltsos, argilosos, argilo siltico arenosos com pedregulho, argilo arenoso com pedregulho e argilo siltsos, ocorrendo as cores marrom claro, amarelado e em alguns casos com veios amarelados a esbranquiçados. Além desta

formação geológica, ocorrem depósitos quaternários, estes formados por solos coluvionares de pequenas espessuras derivados da alteração do riolito. Os solos coluvionares foram caracterizados localmente como areno argilosos de coloração marrom amarelada, com a presença de blocos de rocha rolados em determinados locais. Estas características foram evidenciadas pelas sondagens à percussão (SP) e sondagens mista (SM).

Na região do viaduto, muro de terra armada foi projetado entre o km 1+550 e 1+649, onde mostram a planta de situação e a elevação em terra armada. A sondagem mista (SM), realizada no pé do Morro do Campeche e nas proximidades da obra de contenção, atesta a capacidade de suporte do solo de fundação, constituído por areia média fina com pedregulhos, com coloração variegada e compacidade medianamente compacta, N_{SPT} entre 10 a 14. Subjacente à esta camada, a partir de aproximadamente 3,5m de profundidade, a investigação indica a presença de rocha riolítica pouco alterada e medianamente fraturada, identificada a partir do percentual de recuperação da sondagem (97%) e da análise visual dos testemunhos. Na sequência, foi identificada uma camada com aproximadamente 1m de espessura de rocha classificada como extremamente fraturada (com 48% de recuperação) seguida de rocha sã. A rocha sã, com (100% de recuperação) foi identificada a aproximadamente 6m de profundidade, o nível d'água a 3,78m e o limite da investigação foi de 9,14m. Observa-se no perfil do terreno o aumento da resistência do solo com a profundidade até encontrar o substrato rochoso.

As investigações de campo, realizadas no pé do Morro do Campeche, identificaram no solo de fundação da terra armada a presença de material arenoso, com granulação média a fina e com coloração variando de marrom a acinzentada, e material argiloso (argilo siltsoso e argilo arenoso), com coloração variando entre marrom amarelada, acinzentada clara e

acinzentada escura. Nesses ensaios o nível d'água variou entre 0,9m e 1,3m, demonstrando um nível freático elevado. Especificamente entre o km 1+570 e 1+630, o DPL identificou no solo de fundação camadas de argila arenosa acinzentada escura, com número de golpes entre 2 e 3. Nestes locais, com a presença de solos compressíveis, e se tratando do solo de fundação do maciço terra armada, foi adotada a remoção destas camadas de solo menos resistente e substituição por material granular com capacidade de suporte adequada.

Baseando-se na premissa de que a eficiência do maciço em terra armada está relacionada ao atrito entre o solo e os elementos de reforço, a escolha do material de aterro para a região das armaduras, leva em consideração o ângulo de atrito interno e a granulometria do solo. Na interseção da Rodovia SC-405 com a Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga, em acordo com as jazidas e pedreiras existentes na região, indica-se o emprego de bica corrida, como material de aterro na região das armaduras. Seguindo as premissas da ABNT (1986), onde estes materiais mostram-se adequados para o uso em questão.

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, para o projeto de Interseção da Rodovia SC 405 com a Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga, foi indicada como solução geotécnica a utilização de contenções de aterro compostas por muros de solo reforçado do tipo terra armada, no encontro de viadutos do km 01+649, para evitar interferência do aterro do eixo 1 sobre os eixos adjacentes (eixo 4 e eixo 5 do projeto geométrico), bem como para conter os aterros do encontro do viaduto. A solução já consagrada pelo uso e desempenho, constitui-se de solo granular, compactado, reforçado por tiras metálicas de aço corrugado, protegido por uma parede de placas de concreto em formato cruciforme. As tiras metálicas são fixadas às placas de concreto por meio de esperas, também de aço, as quais possuem espaçamento

horizontal variável. Este espaçamento é informado pelo projeto em função do valor das tensões em cada nível de reforço. Já o espaçamento vertical normalmente adotado é de 0,75m em função do tamanho e encaixes das placas.

O aterro é espalhado com equipamentos normais de terraplenagem. Entre dois leitos sucessivos de armaduras há uma distância vertical de 0,75m, que permite espalhar e compactar o solo em camadas de espessura conveniente. A compactação pode ser feita com qualquer equipamento para esse fim. Cada placa de concreto possui seis esperas, onde serão fixadas as faixas de aço, assim que a camada compactada atinja a altura das esperas. A Figura 11 apresenta um detalhe esquemático do encontro portante com a terra armada.

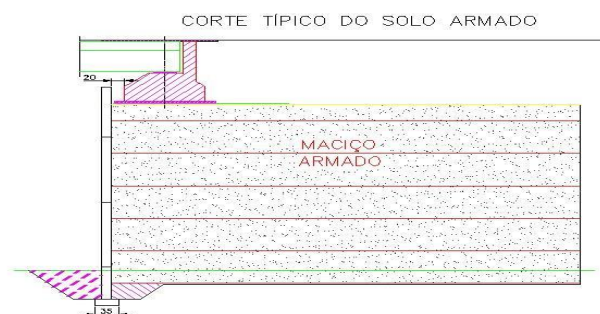


Figura 11. Solo armado portante

Foram realizadas as verificações de estabilidade das obras de contenção do tipo terra armada. Nas análises de estabilidade dos muros de solo reforçado do tipo terra armada, a estabilidade interna e externa foram verificadas através de métodos tradicionais de dimensionamento, seguindo recomendações da ABNT (1996) sobre terra armada e ABNT (2009) sobre estabilidade de encostas. Além da análise da estabilidade global utilizando o *software* Slide.

No caso de muros de gravidade, flexão ou de solo reforçado, a estabilidade externa está relacionada as condições de segurança: contra ao tombamento, deslizamento e contra a ruptura

do solo de fundação. Ao longo do km 01+550 e km 01+649 foram projetados muros de terra armada do tipo greide no lado direito e esquerdo do eixo 1, para conter o aterro de encontro de viaduto e evitar interferência do referido eixo (eixo 1) sobre os eixos adjacentes (eixo 4 e eixo 5). Ressalta-se que a obra de arte especial projetada neste segmento foi dimensionada com apoio em pilares. A Tabela 2 apresenta os resultados da análise de estabilidade interna para a verificação da resistência das fitas contra a ruptura por tração e contra a ruptura por falta de aderência solo armadura. Já as Tabelas 3, 4 e 5 apresentam respectivamente os resultados da estabilidade externa para a segurança ao tombamento, deslizamento e ruptura do solo de fundação para muros do tipo greide. Para o cálculo da segurança contra ruptura do solo de fundação, utiliza-se os parâmetros exibidos na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do solo de fundação

Peso específico (kN/m³)	Coesão (kPa)	Embutimento do muro (m)	B (m)	Nc	Nq	Ny
17,5	5	0,87	5,18	20	9	4,8 3

Tabela 2. Análise da estabilidade interna

Altura do paramento (m)	Cota (m)	Espaçamento horizontal (m)	No fitas/m	No fitas por placa	T _{máx} (kN)	T _{r1} (kN)	T _{r2} (kN)	Aderência solo-armadura (kN)
9,6	0,39	0,75	1,33	2	1,82	34,8	34,12	3,24
	1,14	0,75	1,33	2	5,11	34,8	34,12	8,76
	1,89	0,75	1,33	2	8,12	34,8	34,12	13,37
	2,64	0,75	1,33	2	10,88	34,8	34,12	17,08
	3,39	0,75	1,33	2	13,41	34,8	34,12	19,89
	4,14	0,75	1,33	2	15,71	34,8	34,12	21,82
	4,89	0,75	1,33	2	17,8	34,8	34,12	23,13
	5,64	0,75	1,33	2	19,68	34,8	34,12	25,69
	6,39	0,75	1,33	2	22,1	34,8	34,12	29,94
	7,14	0,75	1,33	2	25,31	34,8	34,12	37,32
	7,89	0,75	1,33	2	28,76	34,8	34,12	45,87
	8,64	0,75	1,33	2	32,51	34,8	34,12	55,75
	9,39	0,75	2	2	24,41	34,8	34,12	67,2
10,14	0,75	2	2	27,45	34,8	34,12	80,49	

Tabela 3. Segurança contra tombamento

Momento atuante (kN.m/m)	Momento resistente (kN.m/m)	FS
1071,84	4116	3,84

Tabela 4. Segurança contra deslizamento

Atrito solo-muro	Peso do muro (kN/m)	Empuxo ativo (kN/m)	FS
0,6	1176	334,95	2,12

Tabela 5. Segurança contra ruptura do solo de fundação do muro tipo greide

σ_{adm} (kPa)	Tensão na base do muro (kPa)	FS
456,43	227,15	2,01

A partir dos resultados, o maciço projetado satisfaz os critérios de estabilidade interna, preconizados na ABNT (1986), relacionados a resistência à tração das armaduras e a aderência solo-armadura. Quanto à estabilidade externa, observa-se que em cada verificação os valores dos fatores de segurança estão de acordo com os especificados na ABNT (2009), atendendo os requisitos para a estabilidade externa.

A análise de estabilidade global do muro tipo greide foi verificada no *software* Slide 5.0, obtendo-se um coeficiente de segurança de FS igual a 1,7 (Figura 12), para a situação crítica encontrada no segmento em estudo. Observa-se que o fator de segurança (FS) satisfaz os critérios da ABNT (2009).

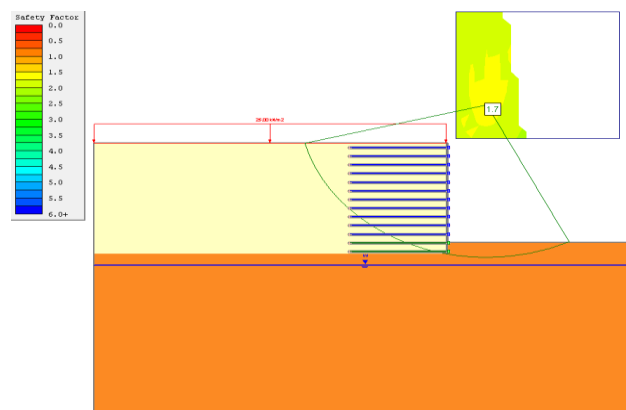


Figura 12. Análise de estabilidade do muro

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa avaliou aspectos geotécnicos da interseção das rodovias SC-405 e Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga, as quais são importantes vias de acesso entre diversos bairros de Florianópolis. Visando uma solução para a problemática de mobilidade verificada na área, avaliou-se possíveis soluções para a implementação de uma Obra de Arte Especial

(OAE) em áreas com presença de solos moles (compressíveis). Dentre as soluções cogitadas a partir das investigações geotécnicas e estudo geológicos, inferiu-se a do EPS para o corpo do aterro, visando reduzir o comprimento do viaduto. Entretanto, em alguns locais foi evidenciado um nível freático elevado, sendo encontrado em 0,30 m. Tendo em vista que a presença de água é um dos principais problemas para o uso do EPS, a solução se tornou inexecutável.

Assim, realizou-se prolongamento da OAE, com a remoção de algumas camadas de solos moles e utilização de contenção a partir da estrutura de muro de terra armada, sendo esta uma solução de rápida execução e eficiência na contenção e apoio a viadutos. Verifica-se ainda que o projeto de interseção da rodovia SC-405 com a rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga atendeu ambos os critérios de estabilidade interna e externa, sendo esta a melhor solução técnico-econômica apresentada para a obra analisada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem também ao CNPq pelo apoio financeiro e concessão de bolsas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.S.S. e MARQUES, M.E.S. (2010). *Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho*. 2ª edição, Editora Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 229 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2009). 11682: *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro: Moderna, 38p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2001). 6484: *Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro: Moderna, 17 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1996). 9286: *Terra Armada*. Rio de Janeiro: Moderna, 20 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1998). *DNER PRO 281: Manual de Aterros sobre Solos Moles*. Rio de Janeiro, 34p.