

Avaliação das Causas Geotécnicas da Ruptura de uma Contenção de Uma Estrada Localizada no Município de Cajamar/SP

João Alexandre Paschoalin Filho

Paschoalin & Versolatto Engenharia Consultiva, São Paulo, Brasil, paschoalinfilho@yahoo.com

Universidade Nove de Julho, São Paulo, Brasil, jalexandre@uninove.br

Brenno Augusto Marcondes Versolatto

Paschoalin & Versolatto Engenharia Consultiva, São Paulo, Brasil, brenroversolatto@hotmail.com

Dirney Cury Filho

Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, Brasil, dirneycury@yahoo.com.br

RESUMO: Este artigo apresenta a avaliação da ruptura da contenção de uma estrada localizada em Cajamar/SP, de forma a demonstrar as causas geotécnicas que influenciaram na ocorrência do sinistro. A obra consiste em um muro de concreto armado com fundação profunda. O trecho rompido possuía altura máxima de 16m, contrafortes de montante ancorados no terreno por meio de vigas de concreto armado e estacas escavadas. O paramento encontrava-se apoiado sobre uma viga de coroamento de concreto armado sobrejacente a uma linha de tubulões sem base alargada. O sistema de drenagem era composto por duas linhas de barbacãs. O subsolo é composto por uma camada superficial de aterro com consistência variando entre mole a rijo. Sob essa camada foi verificada uma camada de silte argiloso pouco arenoso. Para estudo da estabilidade da contenção foram conduzidas análises considerando-se superfície de ruptura circular, de maneira a se verificar a susceptibilidade da estrutura ao tombamento verificado “in loco”. Uma vez que a ruptura da contenção ocorreu após chuvas intensas e durante a perfuração de tirantes por meio de lavagem dos furos, foram também conduzidas análises de estabilidade considerando-se a saturação do maciço, de maneira a se comprovar as consequências deste fenômeno na estabilidade global da contenção. Pôde-se constatar que a contenção já apresentava, em projeto, características que lhe atribuíam fator de segurança a estabilidade global insuficiente. A saturação do maciço contribuiu na redução dos fatores de segurança em níveis inferiores a unidade, causando o tombamento da contenção por ruptura global do maciço.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade, Contenções, Ruptura Global

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo tem por objetivo apresentar a avaliação geotécnica de um muro de contenção localizado em uma estrada de acesso a um condomínio de alto padrão localizado no município de Cajamar, próximo a cidade de São Paulo, o qual rompeu após ocorrência de chuvas intensas e durante reforço deste por meio de atirantamento.

O trecho rompido possuía altura variando entre 10 e 16m. O muro era dotado de contrafortes a montante do paramento a cada 2,0m ancorados no terreno por meio de vigas de concreto armado e estacas escavadas com 320mm de diâmetro e 6m de comprimento. Estas vigas encontravam-se distribuídas em três níveis distintos em relação ao paramento. As estacas escavadas foram instaladas na ponta de cada viga mencionada, de modo que este

sistema servisse como ancoragem do paramento no maciço arrimado.

O paramento da contenção era apoiado sobre uma viga de coroamento de concreto armado, sobrejacente a uma linha de tubulões sem base alargada com diâmetro variando entre 0,60 e 1,20m, espaçados em distâncias variando entre 2,2 e 2,4m entre eixos. O sistema de drenagem era composto por duas linhas de barbacãs, não sendo notada a presença de elementos de drenagem subsuperficial.

De acordo com informações coletadas no local da obra, após um período de intensas chuvas, notou-se a ocorrência de trincas no pavimento e no solo contido pelo arrimo, indicando movimentação do muro. Diante dessa situação foi contratada a elaboração de um projeto de reforço do arrimo existente por meio da execução de atirantamento. Contudo, durante a operação de perfuração dos tirantes (executada por meio de limpeza do furo com água), o muro, no trecho em estudos sofreu tombamento.

Deve-se destacar que a contenção também apresentava, em diversos trechos, patologias tais como: bicheiras no concreto, armadura exposta em processo de corrosão, problemas de trincas nas juntas dos painéis, resquícios das fôrmas utilizadas na concretagem, trechos com paramento em inclinação negativa, barbacãs colmatados, presença de trincas no paramento, exposição do agregado graúdo do concreto, etc. As Figuras seguintes apresentam fotografias colhidas no sítio em estudos.



Figura 1. Detalhe do sistema de drenagem da contenção.



Figura 2. Seção da contenção rompida (Notar vigas de ancoragem a montante do paramento).



Figura 3. Material mobilizado após ruptura.



Figura 4. Seção da viga de ancoragem rompida.



Figura 5. Contrafortes de montante do paramento.



Figura 6. Vista geral do trecho rompido.

2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DO LOCAL

A região de Cajamar é formada por rochas pertencentes ao Grupo São Roque, constituído por metarenitos, metacalcários e sequencia de rochas metavulcânicas (OLIVEIRA *et al*, 2011).

O Grupo São Roque, na região de Cajamar, é representado por uma sequencia basal constituída por filito, metarenito e metamicroconglomerados da Formação Estrada dos Romeiros e uma sequencia superior representada por filito, metacalcário e metabasitos de Formação Pirapora (OLIVEIRA *et al*, 2011).

Completando as unidades litológicas da área, estão presentes também os corpos graníticos de Tico-Tico, a leste, e de Ponunduva, a oeste. Além disso, do ponto de vista estrutural, merece destaque a Zona de Cisalhamento Jundiuvira, de carater regional, que atravessa o canto oeste da área, no sentido NE-SW (OLIVEIRA *et al*, 2011).

Para a investigação do subsolo local foram conduzidas sondagens a percussão tipo SPT (*Standard Penetration Test*), totalizando aproximadamente 228m perfurados.

De acordo com os ensaios realizados, o subsolo local é composto por uma camada superficial de aterro heterogêneo atingindo espessura máxima de 18m e consistência variando entre mole a rija. Sob essa camada foi verificada uma camada de silte argiloso pouco arenoso, com espessura entre 3,0m e 7,0m. Subjacente a estas camadas foi verificado uma camada de silte argiloso pouco arenoso.

Na Tabela 1 é apresentada a relação das sondagens conduzidas.

Tabela 1. Relação das sondagens SPT executadas “in loco”

Sondagem	Profundidade (m)
SP1004	22,45
SP1005	22,30
SP1006	14,30
SP1007	22,15
SP1008	24,45
SP1009	25,30
SP1010	27,15
SP1011	20,14
SP1012	8,30
SP1013	8,30
SP1014	8,05
SP1015	8,05
SP1016	8,45
SP1017	8,40
Total	227,9

3 METODOLOGIA

3.1 Parâmetros Geotécnicos Adotados

A adoção dos parâmetros geotécnicos do subsolo local foi fundamentada na análise dos resultados das sondagens a percussão realizadas, classificação táctil-visual dos materiais indicados nos boletins, bem como na bibliografia técnica consultada, tais como: Gurgueira (2013), ABMS (1993) e Oliveira *et al* (2011).

A Tabela 2 a seguir ilustra os parâmetros geotécnicos adotados empregados nas análises.

Tabela 2. Parâmetros geotécnicos utilizados.

Material	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
Aterro I	17	18	5	25
Etc	24	---	---	---
AterroII	17	18	9	27
Siaa I	19	20	12	23
Siaa II	20	21	20	28

Onde:

Aterro I – aterro

Etc – estrutura de concreto

Siaa I – silte argiloso pouco arenoso I

Siaa II – silte argiloso pouco arenoso II

3.2 Sobrecargas de Tráfego Consideradas

Por se tratar o muro em estudos em uma contenção de uma via de acesso a um condomínio, os fatores de segurança foram obtidos mediante adoção das seguintes sobrecargas externas: i) baixo tráfego de veículos ao longo da via, representado pelo carregamento de 5kN/m²; ii) alto tráfego de veículos ao longo da via, representado pelo carregamento de 10kN/m²; iii) sobrecarga prevista pela norma NBR 11.682 “Estabilidade de Encostas”, da ordem de 20kN/m².

3.3 Elementos Estruturais da Contenção Simulados

No intuito de se modelar, nas análises computacionais, a estrutura de concreto armado da contenção, considerou-se que esta apresentava rigidez superior aos solos ocorrentes, de modo que foi adotada uma rigidez infinita para este elemento.

No caso das estacas e tubulões, estes foram devidamente detalhados com comprimentos e espaçamentos apresentados em projeto. Para a modelagem destes no programa computacional, foram calculadas, a partir da área de concreto da seção e armações transversais destes elementos, a resistências a força cortante iguais a 100kN para as estacas escavadas e 250kN para os tubulões

3.4 Análises de Estabilidade Conduzidas

Foram conduzidas análises de estabilidade global, considerando-se superfície de ruptura circular, de maneira a se verificar a susceptibilidade da estrutura ao tombamento verificado “in loco”.

Na elaboração das análises de estabilidade foi considerado que o elemento de contenção apresentava, na seção crítica, três níveis de travamento por vigas e estacas de ancoragem e fundação do tipo tubulão, tal como apresentado no projeto executivo e constatado pelas inspeções conduzidas em campo.

As análises de estabilidade foram conduzidas utilizando-se o Método de Bishop Simplificado, o qual assume, durante a ruptura, o deslocamento de uma massa de solo orientada por uma superfície circular (MASSAD, 2013). As análises de estabilidade foram conduzidas utilizando-se o programa computacional Slide 5.0 da RocScience.

3.5 Análise dos Fatores de Segurança

Após a determinação das superfícies de ruptura críticas para cada seção estudada, os fatores de segurança obtidos foram comparados aos mínimos apresentados pela norma ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”, de maneira a se verificar a adequabilidade destes em relação às especificidades locais.

Os quadros 1, 2 e 3 apresentam os requisitos recomendados pela norma para a determinação do fator de segurança mínimo aos taludes em estudos, estes são baseados em critérios de segurança contra a perda de vidas humanas e contra a ocorrência de danos ambientais e materiais.

Quadro 1. Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”

Quadro 2. Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais sujeitos a proximidades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”

Quadro 3. Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

Nível de segurança contra danos a vidas humanas \ Nível de segurança contra danos ambientais	Nível de segurança		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”

Dessa forma, por meio dos Quadros apresentados e considerando-se a via de acesso ao condomínio como de moderado volume de tráfego e possibilidade de danos ambientais e materiais baixa, as análises de estabilidade foram conduzidas considerando fator de segurança mínimo de 1,3.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Análise de Estabilidade da Seção Inicial de Projeto

As análises representadas nas Figuras seguintes apresentam as condições de estabilidade da seção crítica modelada, ou seja, àquele de maior altura rompida, em diferentes solicitações de tráfego. Os parâmetros geotécnicos de cada camada estão relatados na Tabela 2. Destaca-se que a estrada em questão situa-se no topo do muro.

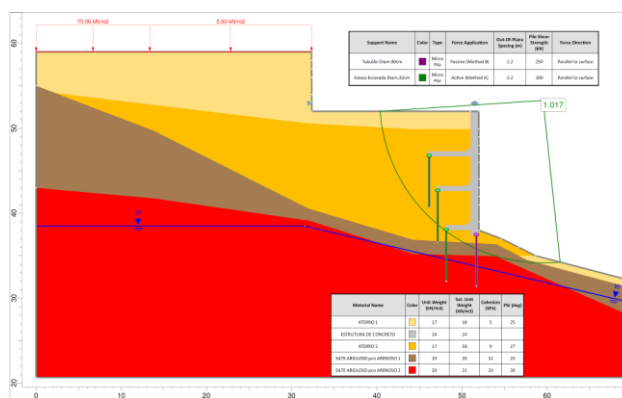


Figura 7. Análise de estabilidade – sobrecarga $q=0\text{kPa}$ (FS=1,01) – condição sem tráfego.

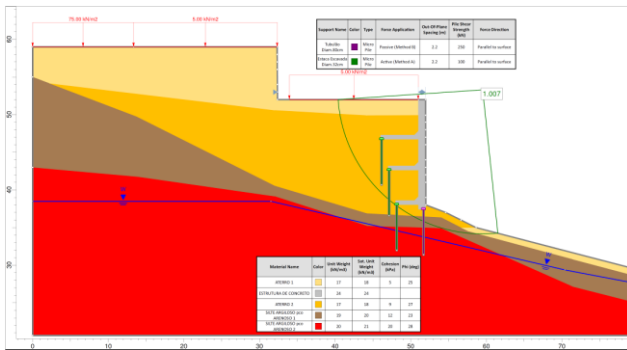


Figura 8. Análise de estabilidade – sobrecarga $q=5\text{kPa}$ (FS=1,0) – condição tráfego baixo.

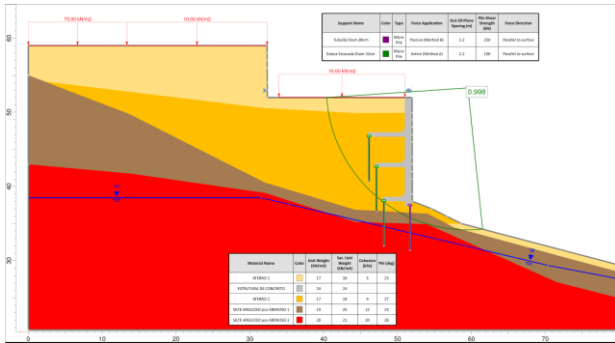


Figura 9. Análise de estabilidade – sobrecarga $q=10\text{kPa}$ (FS=0,99) – condição tráfego elevado.

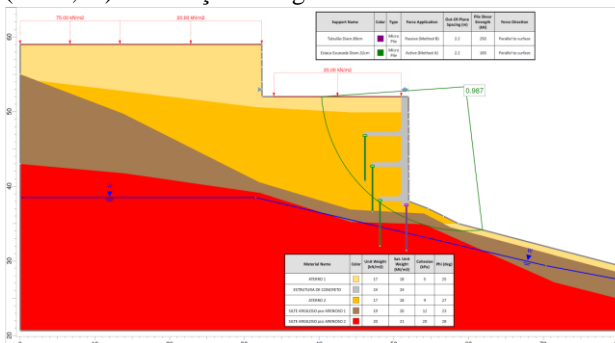


Figura 10. Análise de estabilidade – sobrecarga $q=20\text{kPa}$ (FS=0,98) – sobrecarga ABNT NBR:11.682/2009.

Por meio das Figuras 8 a 11 pode-se observar que as análises de estabilidade global conduzidas apresentaram fatores de segurança correspondentes a unidade (FS=1,0), indicando condição de equilíbrio limite da seção projetada e analisada.

Chama também atenção o fato de que os elementos estruturais que deveriam garantir a estabilidade da contenção às solicitações horizontais do terreno encontram-se contidos no interior da região ativa das superfícies de ruptura obtidas, ou seja, boa parte das estacas escavadas e das vigas de ancoragem (principalmente ao se verificar a primeira linha) pouco colaboravam na estabilização da

contenção. Nota-se também que a variação das sobrecargas de tráfego praticamente não alteraram os valores dos fatores de segurança obtidos.

4.2 Análise de Estabilidade da Seção Consideração Efeito de Saturação no Maciço

Conforme informações fornecidas pelos responsáveis da obra, após um período de chuvas intensas na região, observou-se a abertura de trincas ao longo da via pavimentada sobrejacente ao muro.

Ressalta-se que a região rompida localizava-se em um ponto mais baixo do terreno, onde todo o fluxo de água superficial convergia e se acumulava neste.

Deve-se destacar também que, pouco antes da ruptura, a contenção passava por um processo de atirantamento, sendo a perfuração realizada por meio de lavagem a água. Dessa forma, o acúmulo de água advindo desta operação poderia ter causado a saturação do solo a montante do paramento e a sobrelevação de subpressões de água.

Diante disso, foram também conduzidas análises de estabilidade considerando-se o aumento do nível do lençol freático de forma a se representar uma condição de saturação e ocorrência de subpressões a montante do paramento, de forma a se comprovar as consequências deste fenômeno na estabilidade da contenção.

Ressalta-se que os elementos do sistema de drenagem existente, durante as vistorias realizadas, após a ruptura, mostraram-se inoperantes e, em pontos localizados, com revestimento externo de manta geotêxtil colmatada, dessa forma foi adotado que estes barbacãs não possibilitaram a drenagem da elevação do N.A.

Ademais, a linha de tirantes que estava sendo perfurada, antes da ruptura, localizava-se próxima a cota da linha de barbacãs.

A seguir, as Figuras 12 a 15 demonstram a saída computacional das análises de estabilidade efetuadas na seção.

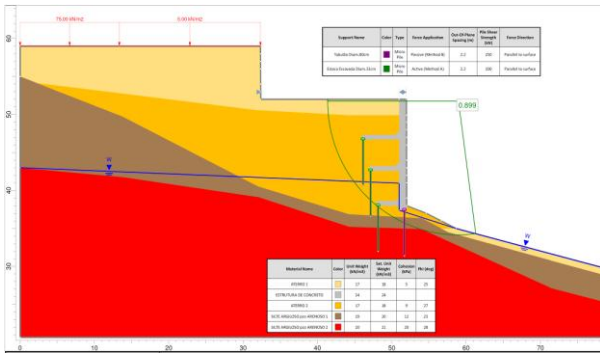


Figura 12. Análise de estabilidade – sobrecarga $q=0\text{kPa}$ (FS=0,89) – saturação do maciço contido

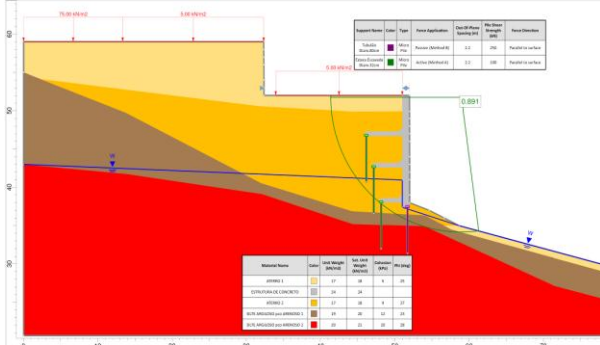


Figura 13. Análise de estabilidade – sobrecarga $q=5\text{kPa}$ (FS=0,89) – saturação do maciço contido

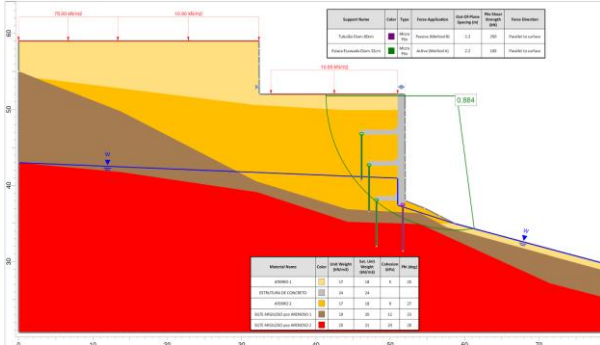


Figura 14. Análise de estabilidade – sobrecarga $q=10\text{kPa}$ (FS=0,88) – saturação do maciço contido

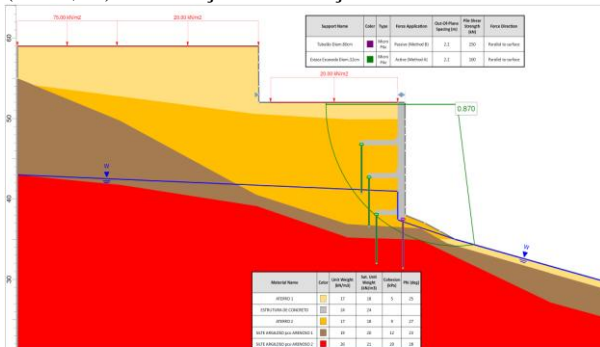


Figura 15. Análise de estabilidade – sobrecarga $q=20\text{kPa}$ (FS=0,87) – saturação do maciço contido

Por meio das Figuras apresentadas, pode-se notar que a saturação do solo, e sobrelevação de pressões de água intersticial, causou a redução do fator de segurança em magnitudes inferiores

a unidade, independente da magnitude de tráfego simulada.

A Tabela 3 apresenta um resumo das análises de estabilidade conduzidas.

Tabela 3. Resumo das análises de estabilidade conduzidas

Condição	FS*	Sobrecargas consideradas (kPa)			
		0	5	10	20
Não saturado	1,3	1,01	1,0	0,99	0,98
Após saturação		0,89	0,89	0,88	0,87

* De acordo com recomendações da ABNT NBR 11.682/2009.

Observando-se a Tabela 3, pode-se constatar que a estabilidade global da contenção já apresentava, em qualquer condição de tráfego, condição de equilíbrio limite (FS=1,0), ou seja, inferior ao mínimo sugerido pela norma. Também se constata que os fatores de segurança pouco se alteraram em função das sobrecargas simuladas.

Ao se considerar a influência da saturação do maciço, constatou-se que os fatores de segurança obtidos conduziram a valores inferiores a unidade, indicando ruptura global da contenção.

5 CONCLUSÕES

De acordo com as análises de estabilidade efetuadas, pode-se notar que a contenção em estudos já apresentava, em projeto, características que lhe atribuíam fator de segurança a estabilidade global insuficiente em relação aos mínimos valores preconizados pela ABNT NBR 11.682/2009.

Os Fatores de Segurança obtidos nas análises da seção crítica modelada indicaram estado de equilíbrio limite (FS=1,0), ou seja, em condição onde os esforços solicitantes praticamente se equivaliam aos resistentes.

Também deve-se salientar que os elementos estruturais (viga de ancoragem e estacas escavadas), que deveriam ser responsáveis pela estabilização do paramento aos esforços horizontais, apresentaram baixo desempenho em relação a estabilidade global da contenção.

A saturação do maciço arrimado, causada pela acúmulo de água advindo das precipitações e lavagem da perfuração dos tirantes, aliada a

baixa eficiência do sistema de drenagem ocasionou a redução dos fatores de segurança em níveis inferiores a unidade ($FS < 1,0$), causando o colapso da contenção em estudos por ruptura global do maciço.

Ademais, as análises efetuadas indicaram que as condições de tráfego simuladas pouco alteraram a condição de estabilidade do maciço, o que indica que a ruptura da contenção não ocorreu em função de excesso de sobrecarga sobre esta.

REFERÊNCIAS

- ABMS: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. Solos da Cidade de São Paulo (1993). ABMS. São Paulo, 397p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). ABNT NBR 11.682: “*Estabilidade de Encostas*”. Rio de Janeiro, 33p..
- Gurgueira, M.D. – *Correlações de Dados Geológicos e Geotécnicos na Bacia de São Paulo* (2013). (Dissertação) Programa de Pós-Graduação, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Massad, F. *Obras de terra - Curso básico de Geotecnia* (2003). Ed. Oficina de textos, São Paulo, 170p.
- Oliveira, M.A.F.; Melo, R.P.; Nardy, A.J.R.; Arab, P.B. Caracterização geotermobarométrica dos metabasitos de Cajamar/SP, Grupo São Roque, Cinturão Ribeira. *Revista Brasileira de Geociências*, v41, n3, p375-389, 2011.