



Fonte: www.commons.wikimedia.org

A UTILIZAÇÃO DE GEORADAR COMO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO PARA INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

EMPREENDER NA CONSTRUÇÃO CIVIL REQUER SEMPRE UM BOM PLANEJAMENTO. TODAS AS ETAPAS DEVEM SER ANALISADAS E DISCUTIDAS, DE MODO A PERMITIR A OTIMIZAÇÃO DOS RECURSOS E CRONOGRAMAS, ALIADA À SEGURANÇA TÉCNICA E ÀS BOAS PRÁTICAS DE ENGENHARIA. NA MARINHA DO BRASIL, BEM COMO EM TODA A ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, NÃO PODERIA SER DIFERENTE. A CONCEPÇÃO DE UM PROJETO, DESDE O MAIS SIMPLES AO MAIS COMPLEXO, DEMANDA UM ESTUDO PRELIMINAR ADEQUADO, COM UM NÍVEL DE DETALHAMENTO COMPATÍVEL COM O VULTO DA OBRA.

As investigações geotécnicas têm a função de permitir ao engenheiro traçar um perfil das condições de subsuperfície: tipo de solo, espessura das camadas, nível do lençol freático, compactidade de areias, consistência de argilas etc. (MASSAD, 2003). Em maciços rochosos, informações importantes podem ser obtidas, como a litologia, ou os elementos estruturais (existência de linhas de contato, fraturas, falhas e dobras). Pontes, túneis, obras hidráulicas e edifícios, por exemplo, são todos assentes ou imersos em maciços terrosos e/ou rochosos, dependendo, portanto, do estabelecimento de uma boa campanha de ensaios. No Brasil, o custo desta etapa varia entre 0,2 e 0,5% do valor total em obras convencionais. Em obras especiais, ou na presença de condições mais adversas de fundação, esta faixa pode ser superior (SCHNAID et al, 2012).

Quanto à importância de um programa de ensaios no sucesso de um empreendimento de Engenharia Civil, o manual 1110-1-1804 do *US Army Corps of Engineers* (2001), conforme citado por Schnaid (2012), destaca que:

INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA INSUFICIENTE E INTERPRETAÇÃO INADEQUADA DE RESULTADOS CONTRIBUEM PARA ERROS DE PROJETO, ATRASOS NO CRONOGRAMA EXECUTIVO, CUSTOS ASSOCIADOS A ALTERAÇÕES CONSTRUTIVAS, NECESSIDADES DE JAZIDAS ADICIONAIS PARA MATERIAIS DE EMPRÉSTIMO, IMPACTOS AMBIENTAIS, GASTOS EM REMEDIAÇÃO PÓS-CONSTRUTIVA, ALÉM DE RISCO DE COLAPSO DE ESTRUTURA E LITÍGIO SUBSEQUENTE.

Assim sendo, pode-se dizer que as investigações geotécnicas constituem o conjunto de atividades realizadas para a obtenção de dados dos maciços que subsidiam o projetista na escolha da solução que apresenta a melhor técnica, aliada aos princípios da economicidade.

Programas de investigação podem ser pautados em dois métodos distintos: os diretos, que perturbam o solo ou a rocha estudada, e indiretos ou geofísicos, baseados na interpretação de medidas físicas, sendo não invasivos e, conseqüentemente, não destrutivos.

Georadar
Fonte: www.scangeo.com.br



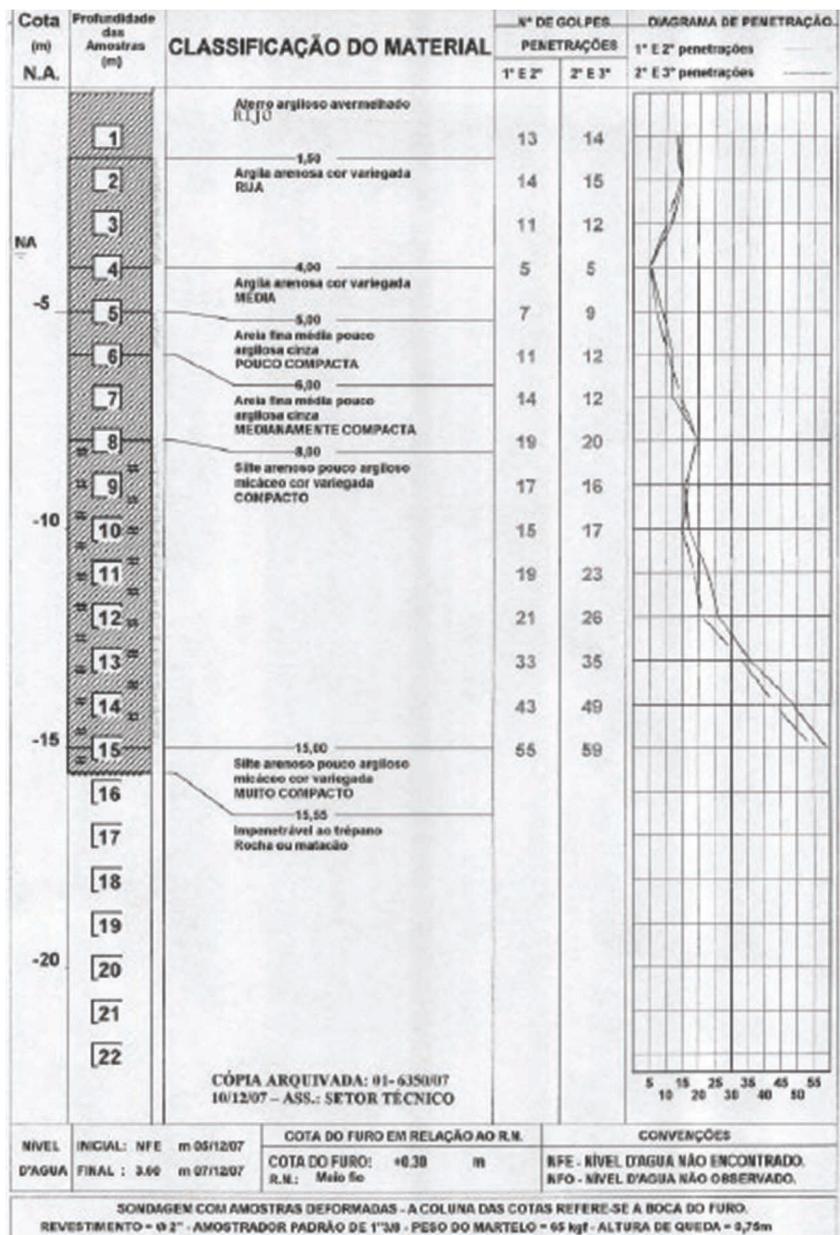


Figura 1 – Exemplo de boletim de sondagem (SPT) da BFNIG, Ilha do Governador, Rio de Janeiro/RJ. Fonte: DOCM.

OS MÉTODOS DIRETOS

Na construção civil, há diversas ferramentas que viabilizam a caracterização do subsolo, sendo os métodos diretos os de uso mais comum. São ensaios normatizados, realizados nas áreas de maior interesse da obra. Por serem pontuais e com custo associado, são obtidos perfis estratigráficos do terreno em uma determinada faixa através da interpolação ou da extrapolação dos pontos de ensaio realizados. Em outras palavras, não se tem um levantamento contínuo dentro desta faixa. Cabe, portanto, à experiência do engenheiro, a estimativa geotécnica do maciço.

A Figura 1 apresenta um perfil geotécnico, obtido através de ensaio percussivo (SPT - *Standard Penetration Test*), de uma área da Base de Fuzileiros Navais da Ilha do Governador (BFNIG), onde são observadas três camadas argilosas mais superficiais (incluindo aterro), sobre camadas arenosas e siltosas, até a cota impenetrável em profundidade superior a 15 m.

Os ensaios do tipo SPT são largamente utilizados no Brasil e no mundo, em função da sua simplicidade e baixo custo. É considerado o tipo de investigação geotécnica mais popular empregado

no país e satisfatório para projetos de baixa complexidade técnica. Por serem ensaios realizados pontualmente no terreno, o SPT não apresenta uma faixa horizontal contínua de dados do perfil do solo e, por isso, demanda interpolações e/ou extrapolações em sua interpretação. Em situações de grande variabilidade geológica do terreno, a interpretação de seus dados pode ser equivocada, levando a perfis geotécnicos imprecisos. Desta forma, empreendimentos de grande complexidade técnica demandam metodologias mais robustas de investigação. Neste caso, os métodos indiretos (ou geofísicos) apresentam-se como excelentes aliados do projetista, principalmente pela continuidade das informações.

OS MÉTODOS INDIRETOS

Métodos geofísicos são caracterizados por não serem invasivos e, portanto, não destrutivos, pois mantêm a estrutura do subsolo intacta durante a sua execução. São vantajosos quanto à velocidade e à continuidade da amostragem, mas, apesar disso, não dispensam a complementariedade dos métodos diretos na aferição de dados.

Soares (2009) cita a utilização de métodos geofísicos em obras lineares de infraestrutura de transportes (onde uma das dimensões é significativamente maior do que as outras duas). São investimentos de grande porte, tais como rodovias, de largo uso no Brasil; ferrovias que, em termos de projeto, não diferem muito das rodovias; dutovias, de seções aéreas, submarinas ou subterrâneas; canais (condutos naturais ou artificiais), destinados a escoar águas com uma superfície livre, em cursos d'água ou escavados; e linhas de transmissão, que demandam programas de investigação mais pontuais. Nestes exemplos, o perfil contínuo do subsolo pode ser estabelecido pelos métodos geofísicos até uma determinada profundidade e em toda a sua extensão.

Os ensaios diretos, como o SPT, complementam as informações em pontos específicos de interesse. Com essa complementariedade, o engenheiro não precisa recorrer à interpolação para caracterização do subsolo, dispondo de informações mais consistentes para o desenvolvimento do projeto.

Na Figura 2, pode-se observar o exemplo de uma sobreposição de dois métodos geofísicos distintos – o elétrico (de resistividade) e o sísmico (de refração) – na caracterização geomecânica (com informações de grau de alteração e fraturamento da rocha, estado das fraturas e presença de água) de um maciço na Serra do Mar, para a implantação de um gasoduto, através de um túnel com cerca de 4,9 km de extensão e cobertura variando de 100 a 600 m (SOARES, 2009).

Soares (2009) descreve que o objetivo deste estudo foi a quantificação do volume de suporte necessário para a escavação da obra, visando uma estimativa de custos, a partir de uma análise conjunta de todos os dados levantados.

Os métodos geofísicos podem ser aplicados largamente, desde a exploração de petróleo em bacias *offshore*, prospecção de minérios, caracterização de aquíferos subterrâneos, estudos ambientais, etc. Chiossi (2013) classifica, através da Tabela 1, os tipos de métodos geofísicos e seus respectivos campos de força, propriedades físicas e campos principais de aplicação. Cada método é classificado de acordo com as propriedades físicas do meio em que investigam.

Como destaque no âmbito das obras civis em ambientes urbanos, pode-se citar um equipamento de uso cada vez mais comum, conhecido como Radar de Penetração do Solo (GPR – *Ground Penetrating Radar*) ou, simplesmente, *Georadar*. Trata-se de um instrumento baseado na emissão de ondas eletromagnéticas de frequência extremamente elevada (da ordem de dezenas ou até milhares de MHz), através de antenas, para o traçado de perfis contínuos do subsolo.

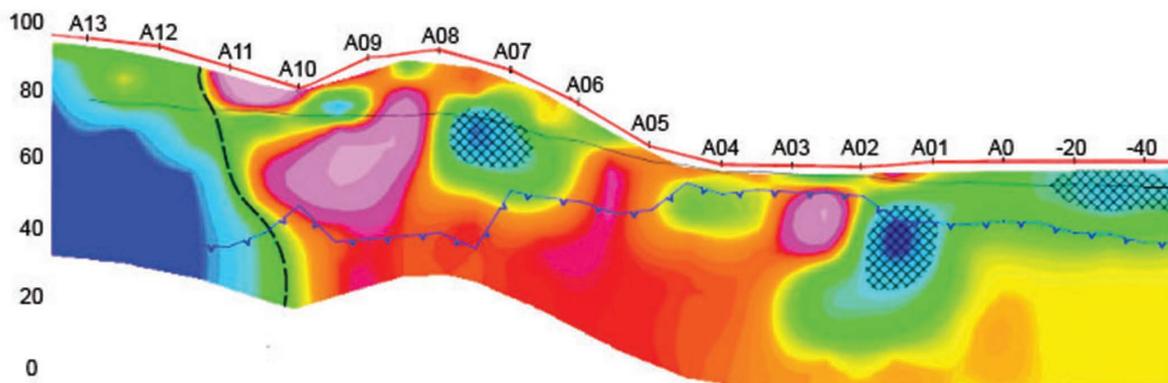


Figura 2 – Sobreposição de seção de resistividades com camadas sísmicas.
Fonte: Soares (2009) Apud Machado et al (2005).

Métodos	Campos de força	Propriedades Físicas	Campos principais de aplicação
GRAVIMÉTRICOS	Campo gravitacional terrestre	Densidade	Pesquisa de petróleo
MAGNÉTICOS	Campo magnético terrestre	Suscetibilidade magnética	Mineração
ELÉTRICOS	Campo elétrico (natural e artificial)	Condutividade elétrica e condutividade ou resistividade elétrica	Água subterrânea e Engenharia Civil
SÍSMICOS	Campo de vibração elástica	Velocidade de propagação de ondas elásticas	Petróleo e Engenharia Civil

Tabela 1 – Classificação dos métodos geofísicos (Chiossi, 2013 – adaptada).

O GEORADAR

O georadar é um instrumento útil no desenvolvimento de investigações de subsuperfície a baixas profundidades, tais como o mapeamento de redes e cabos enterrados, o estudo de lençóis freáticos e a eventual presença de elementos contaminantes (aplicações ambientais), batimetria de lâminas d’água (em rios, lagos e represas), identificação de discontinuidades em obras portuárias, galerias subterrâneas, dutos enterrados e fundações abandonadas ou, até mesmo, a localização de sítios arqueológicos.

O equipamento tem como base a emissão de ondas eletromagnéticas de alta frequência, por meio de uma antena transmissora (Tx). Estes pulsos

de radar são propagados no solo e interagem com as interfaces existentes (de mudança de material ou feições anômalas), sofrendo reflexões e difrações. As ondas refletidas (pulso de retorno) são, em seguida, captadas por uma antena receptora (Rx) e, à proporção que o GPR se desloca horizontalmente para a varredura do terreno, vai sendo formado uma imagem bidimensional de alta resolução, conhecida como radargrama. O intervalo de tempo entre a emissão e a captação decorre em nanosegundos.

A Figura 3 abaixo apresenta um radargrama sobreposto, onde é observada a anomalia (setas 1 e 2), que representa a manilha de concreto enterrada (seta 3).



Figura 3 – Radargrama sobreposto indicando presença de manilha de concreto enterrada no terreno. Fonte: Machado et al (2016).

As antenas Tx e Rx são dispostas de forma paralela e a profundidade do levantamento está condicionada à frequência do equipamento. Frequências maiores estão associadas a profundidades menores, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Já a resolução do sistema está associada à performance do sistema, às características da atenuação e do contraste nas propriedades elétricas dos materiais (MADEIRA, 2002).

Tabela 2 – Classificação dos métodos geofísicos (Porsani, 1999).

Frequência Central (MHz)	Profundidade Máxima de Penetração (m)
1000	1
400	2
200	4
100	25
50	30
25	40
10	50

SUBSÍDIOS EM PROJETOS GEOTÉCNICOS

A penetração do sinal eletromagnético é condicionada pelas propriedades elétricas do material geológico – *condutividade*, *permissividade dielétrica* e *permeabilidade magnética* (ANNAN *et al*, 1992).

A *condutividade* está relacionada à capacidade de conduzir corrente elétrica, sendo influenciada pelo teor de umidade, porosidade, salinidade e proporção de argila e de materiais condutores. A *permissividade dielétrica*, por sua vez, é a quantidade de energia armazenada ou dissipada, devido à formação de campos elétricos internos em deslocamentos induzidos (POWERS, 1997), enquanto que a *permeabilidade magnética* é uma grandeza relacionada à indução magnética, também em termos de acúmulo de energia (KELLER, 1987).

O GPR é bastante útil, portanto, para fornecer subsídios e premissas para todo tipo de obra geotécnica, tais como estabilidade de taludes em maciços rochosos e/ou terrosos, aterros sobre solos moles,

obras de terra (barragens, túneis, escavações, etc.), fundações, dentre outras. Uma ferramenta capaz de estabelecer perfis contínuos das condições de subsuperfície, podendo indicar feições e estruturas geológicas diversas – presença de cavidades, descontinuidades e topos rochosos; e a estratificação dos diferentes materiais, incluindo a presença de lençol freático.

Como exemplo ilustrativo, a Figura 4 apresenta o radargrama de um escorregamento de solo ocorrido em Manhuaçu, Minas Gerais, onde a linha preta destacada indica o contorno da superfície de ruptura. O GPR permitiu o dimensionamento e a melhor localização das sondagens SPT, fornecendo boas estimativas da quantidade de material deslocado e a indicação de fraturas e feições associadas (ARANHA *et al*, 2005) – estas essenciais para o desenvolvimento de um projeto adequado de estabilização.

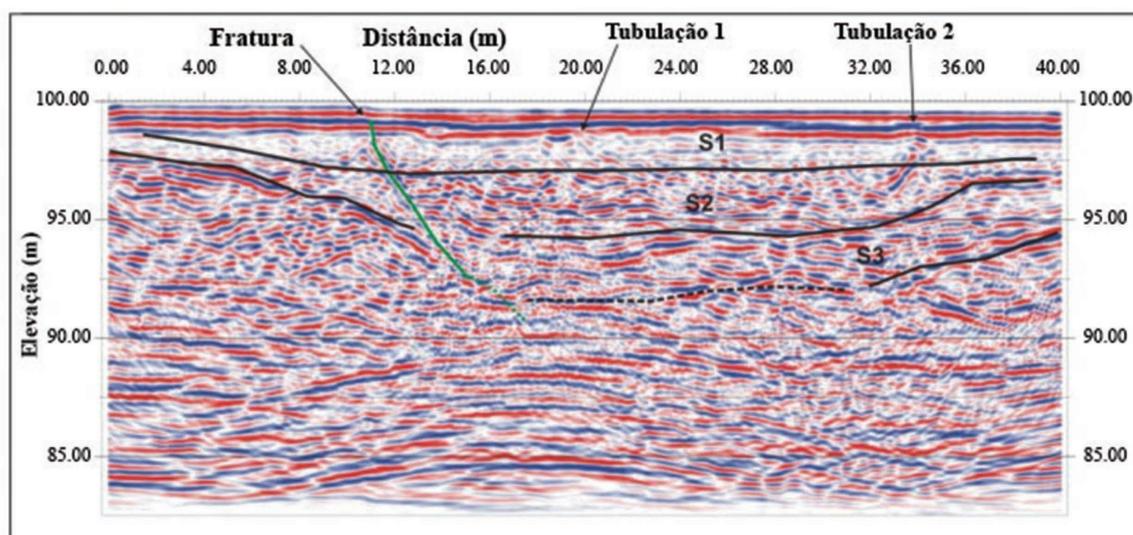


Figura 4 – Radargrama de um maciço terroso, após a interpretação geotécnica. Fonte: Aranha *et al* (2005).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os georadares têm se apresentado como excelentes ferramentas para o estudo do subsolo no subsídio de projetos de Engenharia Geotécnica. As vantagens são inúmeras – a possibilidade de executar perfis geológicos contínuos, a sua rapidez, o relativo baixo custo (quando comparados com outros métodos), os resultados rápidos e de alta resolução e a ausência de intervenções e alterações do local de investigação (sem o inconveniente das obras), por ser uma tecnologia não destrutiva.

Na Marinha do Brasil, o seu uso tem um grande potencial na rotina de manutenção preventiva e em soluções corretivas para as mais variadas instalações terrestres. Seu campo de aplicação se estende desde o estudo da estratigrafia de um maciço para intervenções de estabilização, até o estabelecimento de diagnóstico das condições de fundação de uma estrutura de cais, por exemplo.

Quanto ao custo de aquisição do equipamento para a aplicação na MB, os sistemas mais acessíveis custam a partir de US\$ 14.000,00 (<http://usradar.com/ground-penetrating-radar-cost/>) nos Estados Unidos da América, ou aproximadamente R\$ 80.000,00 na conversão direta, custo esse que pode representar um pequena parcela de projetos grandes desenvolvidos pela MB, com a vantagem de que o equipamento pode ser empregado em outros projetos. Contudo, para a aplicação deve-se somar os custos de importação, treinamento de pessoal e de manutenção periódica.

Considerando toda a importância da existência de um sólido programa de investigações geotécnicas como etapa prévia à execução de obras civis, o GPR tem se apresentado como alternativa de complementaridade das sondagens diretas.

REFERÊNCIAS:

1. ANNAN, A. P. e COSWAY, S. W. 1992. Ground Penetrating Radar Survey Design. Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. SAGEEP'92, April 26-29, 1992, Oakbrook, IL, pp. 329-35.
2. ARANHA, P.R.A. e SOBREIRA, F.C. Utilização do georadar na identificação de feições associadas ao escorregamento ocorrido em Realeza, Manhuaçu – MG. Revista de Geologia, Vol.19, no. 1, 35-47, 2006.
3. CHIOSSI, N. J. Geologia de engenharia. 3ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013.
4. KELLER, G. V. 1987. Rock and mineral properties. In M. N. Nabighian, Ed., Electromagnetic methods in applied geophysics-Theory: Soc. Expl. Geophys.
5. MACHADO, G. Q.; PINHEIRO, A. C. O.; SIQUEIRA, J. Travessias de Rios e Áreas de Proteção Ambiental. In: Rio Pipeline Conference & Exposition. Rio de Janeiro, 2005.
6. MACHADO, E.; BARBOSA, S.W. Detecção de túneis através do uso de GPR em área utilizada para agricultura em Prudentópolis, Paraná. XI SINAGEO. Maringá/PR. Setembro 15-21, 2016.
7. MADEIRA, C. V. 2002. Estratigrafia e Arquitetura de Depósitos Sedimentares Quaternários no SE do Brasil, com base em Reflexões de Ondas de Radar. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 269p.
8. MASSAD, F. Obras de terra: curso básico de geotecnia. São Paulo: Oficina de textos, 2003.
9. PORSANI, J. L. Ground penetrating radar (GPR): proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotecnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da UNESP, Campus de Rio ClaroSP, Brasil, 145p. 1999.
10. POWERS, M. H. 1997. Modeling frequency-dependent GPR: The Leading Edge. 16, p. 1657-1662.
11. SCHANAID, F. e ODEBRECHT, E. Ensaios de campo. 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012.
12. SOARES, A.C.C.P.P. Métodos geofísicos em obras lineares. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2009.
13. U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Engineering design: geotechnical investigations. Manual 1110-1-1804. 2001.

AUTORES



**Capitão Tenente (EN)
Marcos William Magalhães
Leiras de Carvalho**

*AgNSNQ (Agência Naval
De Segurança Nuclear e
Qualidade)*

**Graduado em Engenharia
Civil pela Universidade
Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ)**

**Pós-Graduado em Proteção
Radiológica e Segurança
de Fontes Radioativas pelo
Instituto de Radioproteção
e Dosimetria (IRD).
Especialização em
Gerenciamento de Projetos
pela Pontifícia Universidade
Católica de Minas Gerais
(PUC Minas)**



**Capitão Tenente (EN)
Julio Gomes de Almeida
Pequeno**

*Encarregado da 2ª Seção de
Estruturas da DOCM*

**Graduado em Engenharia
Civil pela Universidade
Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ).**

**Mestrado em Geotecnia
pelo Instituto Alberto Luiz
Coimbra de Pós-Graduação
e Pesquisa de Engenharia
(COPPE/UFRJ)**

