

A IMPORTÂNCIA DOS ASPECTOS CONCEITUAIS E METODOLÓGICOS NA PRÁTICA DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA

(ARTIGO DEDICADO AOS ESTUDANTES DE GEOLOGIA E ÀQUELES QUE ESTÃO A INICIAR SUA CARREIRA PROFISSIONAL EM GEOLOGIA DE ENGENHARIA)

Geol. ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS

“Faz-se ciência com fatos, como uma casa com pedras; porém uma acumulação de fatos não é ciência, como um montão de pedras, não é uma casa.” (H. Poincaré)

“A pessoa que gosta de agir sem teoria é qual marinheiro que sobe a bordo de um navio sem leme e bússola e nunca saberá onde aportar.” (Leonardo da Vinci)

1 - Introdução. O que é a Geologia de Engenharia. Como trabalha

Para o atendimento de suas necessidades (energia, transporte, alimentação, moradia, segurança física, saúde, comunicação...), o Homem é inexoravelmente levado a ocupar e modificar espaços naturais das mais diversas formas (cidades, indústrias, usinas elétricas, estradas, portos, canais, agropecuária, extração de minérios e madeira, disposição de rejeitos ou resíduos industriais e urbanos...), fato que já o transformou no mais poderoso agente geológico hoje atuante na superfície do planeta.

Por outro lado, não há intervenção humana no meio físico geológico natural que não provoque algum tipo de desequilíbrio. O corte em uma encosta, o peso de uma barragem, o vazão provocado pela escavação de um túnel, a impermeabilização do solo causada pela cidade, o rebaixamento forçado do lençol d'água subterrâneo, o desmatamento de uma região; enfim, ao modificar as condições naturais pré-existentes o homem está interferindo em um estado de equilíbrio dinâmico natural. Como resposta à ação do desequilíbrio há uma mobilização de forças naturais orientadas, como reação, a buscar um novo estado de equilíbrio. Caso esse empenho de busca de um novo equilíbrio se dê isoladamente pela própria Natureza, as consequências para o homem costumam ser catastróficas: acidentes locais como deslizamentos, o rompimento de uma barragem, o colapso de uma ponte, a ruptura de um talude, avarias e acidentes em fundações, recalques de terrenos, colapso de obras subterrâneas, patologias estruturais, por exemplo, ou problemas regionais como o assoreamento de um rio, de um reservatório, de um porto, inundações, a contaminação de solos e de águas subterrâneas, consequências extremamente onerosas social e financeiramente, e muitas vezes trágicas no que diz respeito à perda de vidas humanas. Para que essas consequências negativas não aconteçam é necessário que o homem, a partir do perfeito entendimento das características e processos naturais do meio geológico em que está interferindo, seja ele próprio, com a devida adequação de projeto e plano de obra, o promotor das novas situações de equilíbrio entre empreendimento e forças naturais.

Fornecer informações para que essas ações humanas levem corretamente em conta o fator geológico, garantindo então seu êxito técnico/econômico/social e evitando as graves consequências referidas, constitui o objetivo essencial da Geologia de Engenharia. É indispensável, nesse contexto, que o Geólogo conheça exatamente quais os tipos mais comuns de solicitação que os diferentes empreendimentos (barragens, estradas,

minerações, cidades, metrô, aterros sanitários, agropecuária) impõem aos terrenos, o que lhe permitirá orientar e objetivar as investigações que se seguirão e a comunicação de seus resultados.

De outra parte, é fundamental para o sucesso das operações de engenharia que estas se apoiem em um perfeito casamento entre a solução adotada, as características geológicas dos terrenos e materiais afetados e os processos geológico-geotécnicos naturais ou eventualmente provocados pela implantação de um pretendido empreendimento. Daí a essencial importância da exatidão do diagnóstico fornecido pelo Geólogo de Engenharia, no âmbito do qual devem estar descritos todos os fenômenos que podem ser esperados da interação solicitações/meio físico geológico. Ou seja, **a GE tem uma abordagem técnica essencialmente fenomenológica.**

Por outro lado, a GE só conseguirá cumprir cabalmente essa responsabilidade, e assim ser útil à Engenharia e à sociedade em um sentido mais amplo, na medida em que não se descole de suas raízes disciplinares, de sua ciência-mãe, a Geologia, o que significa exercitar e priorizar seu principal instrumento de trabalho, o raciocínio geológico. Essa precaução a fará sempre ter como ponto de partida a consciência de que qualquer ação humana sobre o meio fisiográfico interfere, não só limitadamente, em matéria pura, mas significativamente, em matéria em movimento, ou seja, em processos geológicos, sejam eles menos ou mais perceptíveis, sejam eles mecânicos, físico-químicos ou de qualquer outra natureza, estejam eles temporariamente contidos ou em pleno desenvolvimento.

Em sua magnífica obra, *Novum Organum* (O Novo Método), Francis Bacon (1561 – 1626), notável e influente filósofo e cientista inglês, sentenciou: “Nature to be commanded must be obeyed”, “A Natureza para ser comandada precisa ser obedecida”. Detendo-nos na frase de Francis Bacon, expressão que revela a maravilhosa capacidade de percepção e síntese própria dos sábios, podemos entendê-la como a essência científica e metodológica do trabalho dos geólogos.

Hans Closs-(1885- 1951), eminente geólogo alemão, em consonância com a postulação de Francis Bacon, elevou o trabalho dos geólogos ao patamar de uma responsabilidade civilizatória: "Só uns poucos tomam, por todos os demais, o encargo nobre e pleno da responsabilidade de custodiar a escritura sagrada da Terra, de lê-la e interpretá-la, pois o enlace consciente do homem com sua estrela está confiado a uma ciência em especial, a GEOLOGIA".

2 - Geologia de Engenharia. Conceituação.

A Geologia de Engenharia tem como missão básica diagnosticar, compreender e descrever a natureza geológica dos terrenos a serem afetados por um determinado empreendimento humano, identificando as características de seus diferentes materiais e a dinâmica de seus processos geológicos naturais. Em um segundo passo, a GE, conhecedora das solicitações a que o empreendimento submeterá o meio físico natural, prognostica os fenômenos que serão decorrentes dessa interação solicitação/geologia, de tal modo a, juntamente com a Engenharia, encontrar e conceber as mais corretas formas de combinar harmônica e exitosamente o empreendimento e a natureza geológica dos terrenos envolvidos.

Tem assim a **Geologia de Engenharia** uma abordagem essencialmente fenomenológica, que somente poderá ser cumprida a partir dos instrumentos básicos de uma sólida formação em Geologia.

A IAEG - International Association of Engineering Geology tem a seguinte definição estatutária para a Geologia de Engenharia: *“Geologia de Engenharia é a ciência dedicada à investigação, estudo e solução dos problemas de engenharia e meio ambiente decorrentes da interação entre as obras e atividades do Homem e o meio físico geológico, assim como ao prognóstico e ao desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de riscos geológicos”*.

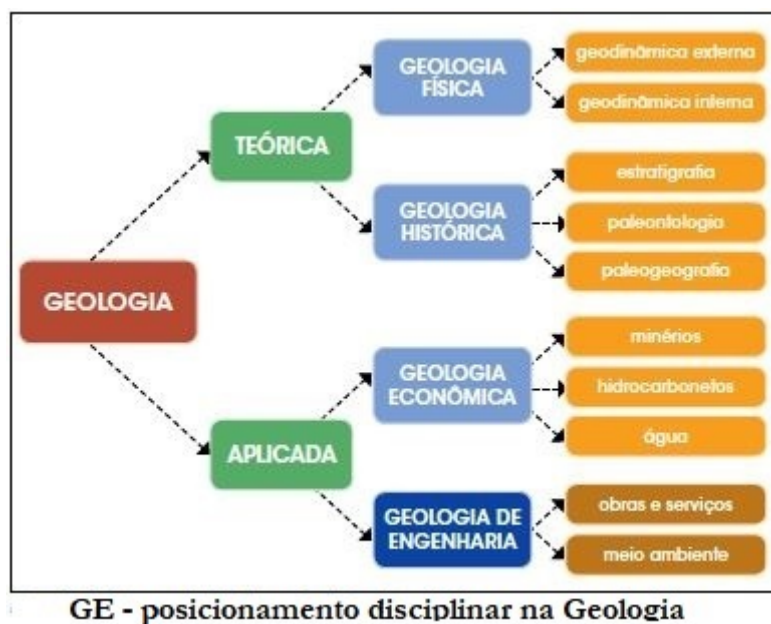
De uma forma mais concisa poderíamos entender a **Geologia de Engenharia como a Geociência Aplicada responsável pelo domínio tecnológico da interface entre a atividade humana e o meio físico geológico**.

3 - Geologia de Engenharia - Posicionamento disciplinar

Disciplinarmente, a Geologia de Engenharia admite duas abordagens não excludentes e plenamente válidas.

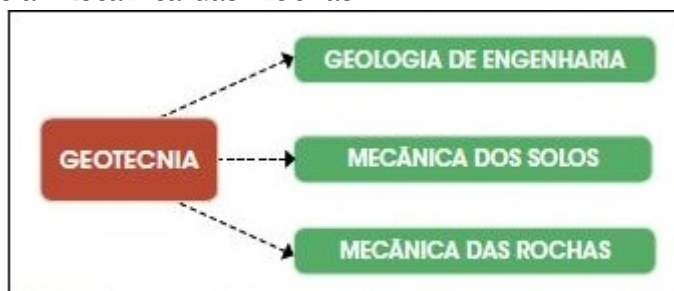
Do ponto de vista da GEOLOGIA, ela é entendida como um de seus ramos aplicados. Certamente este é o posicionamento disciplinar mais adequado ao propósito de resguardar e ressaltar como fundamentais para o trabalho do geólogo de engenharia o instrumental metodológico e a base acumulada de conhecimentos da Geologia. Significa o ato maior do geólogo de engenharia perceber o desafio que lhe é colocado pela Engenharia através dos olhos da Geologia e, mais aplicadamente, dos processos geológicos envolvidos.

A Geologia de Engenharia só conseguirá cumprir cabalmente sua responsabilidade, e assim, ser útil à Engenharia e à Sociedade em um sentido mais amplo, na medida em que não se descole de suas raízes disciplinares, de sua ciência-mãe, a Geologia, o que significa exercitar e priorizar como seu principal instrumento de trabalho, o raciocínio geológico.



Do ponto de vista da ENGENHARIA, a Geologia de Engenharia é vista como um componente disciplinar da Geotecnia, entendida esta como o ramo da Engenharia que se ocupa da caracterização e do comportamento dos materiais e terrenos da crosta terrestre

para fins de engenharia. Esse posicionamento disciplinar é especialmente oportuno no sentido de reforçar o caráter aplicado e as responsabilidades resolutivas, e inclusive legais, do trabalho do geólogo de engenharia. Nesta abordagem, a Geologia de Engenharia tem como disciplinas parceiras, também formadoras da Geotecnia, a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas.



GE - posicionamento disciplinar na Engenharia

4 - Geologia de Engenharia - Fundamentos filosóficos

“*Toda Ciência deve ter uma filosofia, e só esse caminho pode levar a progressos reais*”, afirmava categoricamente, já em 1809, Lamarck, em sua histórica obra “Filosofia Zoológica”.

Para Lamarck, que estabeleceu pela primeira vez ordenadamente as bases da teoria evolucionista, a filosofia de sua Ciência — a Zoologia, o estudo das espécies — fundava-se no conceito das analogias e semelhanças entre os seres e no conceito do sentido da complexidade no processo evolutivo.

A filosofia da Geologia de Engenharia funda-se, na percepção do autor desse texto, em três conceitos essenciais. O primeiro, e certamente o conceito fundamental, é o conceito da **natureza em contínuo movimento**, segundo o qual todo o meio físico geológico esteve, está e estará permanentemente submetido a processos, sejam esses rápidos, lentos, globais, regionais ou locais, facilmente perceptíveis ao ser humano ou não. Decorrendo, então, que qualquer intervenção exógena sobre esse meio interage com a dinâmica desses processos, em sua dimensão, em sua velocidade ou qualidade, quando não, gerando novos e diferenciados processos.

Foi justamente um geólogo, o escocês James Hutton (1726–1797), que originalmente alertou o meio científico sobre o sentido do movimento no mundo geológico. Afirmava Hutton: “Desde o topo da montanha à praia do mar... tudo está em estado de mudança. Por meio da erosão a superfície da Terra deteriora-se localmente, mas por processos de formação das rochas ela se reconstrói em outra parte. A Terra possui um estado de crescimento e aumento; ela tem um outro estado, que é o de diminuição e degeneração. Este mundo é, assim, destruído em uma parte, mas renovado em outra”. O geólogo inglês Charles Liell (1797–1875), desenvolvendo o pensamento de Hutton, concebeu o tão influente princípio do Uniformitarismo, cujo lema maior era “a chave do passado é o presente”, o planeta estava em uma lenta e constante mudança. Darwin aplicou o Uniformitarismo de Liell na Biologia.

O segundo conceito, subjacente ao primeiro, e que também se impõe como fundamento da filosofia da Geologia de Engenharia, trata-se do **conceito do sentido do equilíbrio**, ou da redução de gradientes, pelo que todos os movimentos inerentes aos processos — sejam movimentos gravitacionais de rochas e solos, movimentos descompressionais de maciços, movimentos iônicos de um processo de alteração de rocha ou de pedogênese

de solos, ou movimentos de qualquer outra ordem ou espécie — explicam-se pela busca de posições de maior equilíbrio, ainda que transitórias e instáveis. Cada nova posição de equilíbrio é estabelecida entre a matéria geológica e as mais diversas forças, de origem endógena ou exógena, sobre ela eventualmente atuantes: forças mecânicas, magnéticas, elétricas, gravitacionais, meteóricas, químicas, físico-químicas, térmicas, radiativas, etc. Como afirma Tricart, o grande geomorfólogo francês (Jean Tricart, 1965), “os fenômenos geológicos são de natureza dialética”. E são de natureza dialética, necessariamente, os fenômenos decorrentes da intervenção do Homem no meio geológico. Com espírito observativo, perceberemos em toda relação Homem x Natureza uma sequência inexorável de uma AÇÃO (provocadora de um desequilíbrio), uma REAÇÃO (busca de um novo equilíbrio) e um novo EQUILÍBRIO. Essa afirmação de caráter filosófico terá consequências extremamente positivas e práticas para a GE uma vez apercebida em sua plenitude pelos seus profissionais.

AÇÃO	Intervenção humana pelas mais variadas formas de uso e ocupação do solo modificadoras do meio físico geológico. A Ação provoca um desequilíbrio.
REAÇÃO	Fenômenos potencialmente decorrentes da Ação sobre os materiais e processos geológicos originais. Por exemplo, rupturas em taludes de corte, subpressões em fundações de barragens, erosão e assoreamento em zonas urbanas e rurais. A Reação configura a busca de um novo equilíbrio.
EQUILÍBRIO	Estado alcançado pela ação preventiva ou corretiva do Homem para evitar, mitigar ou controlar os fenômenos decorrentes (Reação) com o mínimo impacto negativo para a intervenção geradora propriamente dita ou para o meio ambiente afetado ou unilateralmente pela própria Natureza.

Finalmente, um terceiro conceito fecharia o triângulo de sustentação filosófica da Geologia de Engenharia. É o conceito da **imanência das características físicas**, pelo qual diferentes materiais geológicos submetidos a processos e solicitações semelhantes demonstrarão comportamentos (fenômenos) diferenciados, em dependência das características físicas intrínsecas de momento destes materiais: composição granulométrica e mineralógica, textura, estrutura, índices de resistência, coesão, tensões internas, etc.

CONCEITOS DE SUSTENTAÇÃO	FUNDAMENTOS
Natureza em contínuo movimento	Toda natureza geológica está submetida a processos e toda intervenção humana interage com a dinâmica desses processos.
Sentido do equilíbrio	Todos os movimentos inerentes aos processos naturais ou induzidos pela ação humana explicam-se pela busca de posições de maior equilíbrio.
Imanência das características físicas	Materiais com características intrínsecas diferentes responderão diferenciadamente a solicitações semelhantes.

5 -Geologia de Engenharia. Método das Hipóteses Progressivas. Etapas de trabalho

“A verdade em ciência pode ser definida como a hipótese de trabalho melhor adequada para abrir caminho para uma próxima hipótese que seja melhor.” (Konrad Lorenz)

“Melhor uma hipótese falsa do que nenhuma hipótese.” (Goethe)

Houve tempo em que, como consequência de uma formação autodidata limitante, de sua pouca experiência acumulada e da insegurança perante o julgamento da Engenharia, muitos geólogos de engenharia primavam sua atividade por uma busca cega de registrar e medir todos os parâmetros geotécnicos possíveis dos materiais que estivessem presentes em determinado local para o qual fora destacado. Ou limitavam seu trabalho a isso — deixando conclusões para a Engenharia e disponibilizando-se a levantar mais dados caso solicitados. Hoje está claro para a Engenharia que a GE só completa sua missão quando firmemente interpretativa e opinativa sobre fenômenos e soluções; não podendo se furtar, portanto, a um trabalho metodologicamente organizado, desde o início inspirado e orientado pelo real problema que justificou sua presença técnica.

Friedrich Engels, em seu magistral trabalho “A Dialética da Natureza” (Engels, 1873), afirma: “A forma do desenvolvimento da ciência natural, na medida em que se manifesta o pensamento, é a hipótese. Observa-se um fato novo, que torna impossível o modo anterior de explicar os fatos pertencentes ao mesmo grupo. A partir desse instante, são necessários novos modos de explicação (a princípio baseados apenas em um número limitado de fatos e observações). O material destinado a observações ulteriores aperfeiçoa essas hipóteses, deixa de lado umas e corrige outras, até que finalmente se estabelece a lei, sob uma forma pura”.

Afirmava Engels que o conhecimento humano, tanto nas ciências naturais como nas humanas, se desenvolve segundo uma curva espiral ascendente. A Geologia de Engenharia, se já conceituada e individualizada ao tempo de Engels, certamente teria sido paradigmática para suas afirmações. E mostrando mais uma vez que a Biologia e a Geologia andam juntas e se alimentam mutuamente, foi Darwin que propôs, de forma organizada, a aplicação do método hipotético-dedutivo às ciências experimentais. Nesse sentido, parece ao autor correto e adequado denominar o método de trabalho dessa nossa Geociência Aplicada (como o seria também para todas as outras Ciências Aplicadas) de **MÉTODO DAS HIPÓTESES PROGRESSIVAS**, pelo qual o caminho para se chegar a diagnósticos seguros passa por um contínuo processo de adoção de hipóteses fenomenológicas e de aferição destas, através do empenho observativo e experimental, ou seja, da investigação orientada de dados que para tanto se mostrem sugestivos ou se façam necessários.

Do ponto de vista da formação de um novo conhecimento, pode-se afirmar que a formulação de uma nova hipótese se dá através de um raciocínio indutivo e de uma lógica dedutiva subsidiada por esforço observativo e experimental; atributos que ressaltam a enorme importância da experiência absorvida e vivenciada e do espírito de observação dos geólogos de engenharia.

A tabela a seguir reúne sucintamente as subseqüentes fases de trabalho da Geologia de Engenharia diante de um problema que lhe é apresentado.

FASES DO TRABALHO	OBJETIVOS	PRINCIPAIS CUIDADOS
Circunscrição do Problema	<p>Identificação preliminar dos problemas potenciais ou ocorridos.</p> <p>Enquadramento geológico-geomorfológico do local.</p> <p>Delimitação e caracterização da área de trabalho.</p>	<p>=Recolhimento de todos os registros bibliográficos e técnicos e de testemunhos de pessoal local.</p> <p>=Caracterização das feições e dos processos geológico-geomorfológicos naturais locais e regionais presentes</p>
Análise e Diagnóstico dos Fenômenos Presentes	<p>Caracterização dos parâmetros geológicos e geotécnicos necessários ao entendimento dos fenômenos envolvidos.</p> <p>Diagnóstico final e descrição qualitativa e quantitativa dos fenômenos implicados nas inter-relações solicitações/meio físico.</p>	<p>=Pesquisa de situações semelhantes, especialmente na região.</p> <p>=Identificação dos processos geológicos e geotécnicos originalmente presentes.</p> <p>=Adoção de hipóteses fenomenológicas progressivas e esforço investigativo e observativo para sua aferição.</p>
Formulação de Soluções	<p>Apoiar a Engenharia na formulação das soluções adequadas.</p>	<p>=Zelo especial pela perfeita aderência solução/fenômeno.</p> <p>=Busca do barateamento da solução encontrada.</p>
Acompanhamento da Implantação	<p>Garantir a correta execução dos trabalhos e propor ajustamentos técnicos eventualmente necessários.</p>	<p>=Zelo para que a solução implantada cumpra perfeitamente as funções desejadas.</p>
Monitoramento do Desempenho	<p>Acompanhar o desempenho da solução implantada.</p>	<p>=Selecionar os indicadores de desempenho, instalar eventual instrumentação e programar sua observação qualitativa e/ou quantitativa ao longo do tempo.</p>

6 - Os 3 postulados sagrados da Geologia de Engenharia

Concisamente assim podemos entender os três postulados conceituais e metodológicos da Geologia de Engenharia:

I) A principal ferramenta de trabalho do geólogo de engenharia é o **raciocínio geológico**, o que o fará sempre ter como ponto de partida a consciência que qualquer ação humana sobre o meio natural interfere, não só, limitadamente, em matéria pura, mas, significativamente, em matéria em movimento, ou seja, em processos geológicos, sejam eles menos ou mais perceptíveis, sejam eles mecânicos, físico-químicos ou de qualquer outra natureza, estejam eles temporariamente contidos ou em pleno desenvolvimento. Será somente o raciocínio geológico que lhe permitirá analisar os problemas que lhe são colocadas sob a ótica do movimento, da relação entre processos, do confronto entre esforços ativos e reativos, da dinâmica temporal. Será somente esse “olhar geológico” que permitirá ao geólogo de engenharia chegar às leis comportamentais de um determinado local a partir da leitura e tradução das feições, evidências e demais sinais que a Natureza lhe propicia.

II) A **abordagem investigativa da GE é essencialmente fenomenológica**. O produto final e essencial das investigações geológico-geotécnicas na fase anterior ao Projeto e ao Plano de Obra é um quadro completo dos fenômenos que potencialmente podem ser esperados da interação entre as solicitações típicas do empreendimento considerado e as características geológicas dos terrenos afetados. Assim, todo o esforço investigativo do geólogo de engenharia deve ser orientado, desde o primeiro momento, a aferir, confirmar e descartar hipóteses fenomenológicas, de forma, ao final, ter concluído seu quadro fenomenológico final, sobre o qual a Engenharia Geotécnica, com sua participação, irá trabalhar.

III) A partir da identificação dos fenômenos potenciais ou ocorrentes em uma dada relação solicitação/características geológicas, o quadro fenomenológico, caberá à Geologia de Engenharia e à Engenharia Geotécnica decidir sobre as soluções de engenharia mais adequadas. Nesse contexto, o geólogo de engenharia deverá ter toda sua atenção voltada à garantia de uma **perfeita aderência entre solução e fenômeno**.

7 - A Geologia de Engenharia nas escolas de Geologia

Como se sabe, a Geologia de Engenharia brasileira desenvolveu-se basicamente fora do contexto acadêmico, devendo esse desenvolvimento em grande parte a esforços autodidatas de caráter essencialmente empírico. Em seu início no país, desde meados dos anos 50, a GE brasileira sofreu grande influência dos paradigmas técnicos da Engenharia Geotécnica, o que a levou a priorizar o esforço mais simplório de parametrização geotécnica. A partir de meados da década de 1970 ganha espaço na GE brasileira a tendência em resgatá-la para o campo dos paradigmas e dos métodos da Geologia, guindando-a a um patamar disciplinarmente mais personalizado e tecnicamente mais resolutivo e influente para as decisões de engenharia.

No entanto, ainda que extremamente positiva e rica, essa abordagem geológica da Geologia de Engenharia ainda carece de consolidação no âmbito da prática geral da GE

brasileira, para o que, não resta dúvida, lhe seria fundamental um maior abrigo do ambiente acadêmico, cultivador da reflexão teórica, do desenvolvimento prático e formador de profissionais através do exercício docente nos níveis de graduação, pós-graduação e especialização.

Geól. Álvaro Rodrigues dos Santos (santosalvaro@uol.com.br)

Ex-Diretor de Planejamento e Gestão do IPT e Ex-Diretor da Divisão de Geologia

Autor dos livros “Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática”, “A Grande Barreira da Serra do Mar”, “Diálogos Geológicos”, “Cubatão”, “Enchentes e Deslizamentos: Causas e Soluções”, “Manual Básico para Elaboração e Uso da Carta Geotécnica”, “Cidades e Geologia”

Consultor em Geologia de Engenharia, Geotecnia e Meio Ambiente