

O CONTEÚDO DIALÉTICO DOS FENÔMENOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

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

1 – INTRODUÇÃO: O DIAGNÓSTICO E A SOLUÇÃO

Há dois momentos especiais que trazem uma indescritível satisfação, eu diria quase orgástica, aos profissionais – o engenheiro geotécnico e o geólogo de engenharia – que lidam com fenômenos geológico-geotécnicos: o fechamento do **DIAGNÓSTICO** e o oferecimento da **SOLUÇÃO**. Observe-se que esses momentos sempre se dão nessa exata seqüência; e não poderia ser de outra forma: em primeiro lugar, o Diagnóstico, em seqüência, a Solução que a ele se aplica.

De sua parte, o fechamento do Diagnóstico será tão mais seguro e facilitado caso se observe, para sua conclusão, um método de trabalho que consiga organizar e ordenar a atividade investigativa. Em seu livro *Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática*, o autor propõe para tanto o **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.

O presente artigo expõe e discute a essência metodológica intrínseca a esse método, na perspectiva de fornecer ao profissional de geotecnia os elementos essenciais a serem adotados em sua abordagem investigativa.

2 – O QUE É A DIALÉTICA

A Dialética consiste, fundamentalmente, em um método de análise de fatos e fenômenos de qualquer ordem, sejam históricos, sociais, econômicos ou relativos às ciências naturais e exatas. O método foi inicialmente desenvolvido e aplicado na Antiguidade grega. Platão afirmava que o método dialético era um instrumento essencial para se alcançar a verdade das coisas.

Foi, no entanto, o filósofo alemão Hegel (1770-1830) que alçou a Dialética a uma verdadeira Ciência do Conhecimento, agregando-lhe o sentido do movimento (nada está estático, tudo está interligado e em movimento) e do conflito de opostos.

Hegel explicitou o método dialético na combinação de três seqüências relacionadas de pensamento:

- **Tese**: afirmação de um estado inicial. Afirmação.
- **Antítese**: alteração imposta ao estado inicial. Oposição.
- **Síntese**: resultado do conflito dos opostos. Equilíbrio.

Marx (1818-1883), filósofo alemão, pioneiro no uso da dialética hegeliana na investigação da história humana, distinguiu as seguintes leis da dialética:

a – Tudo se relaciona, nada existe isoladamente

A Natureza é dinâmica, está em permanente desenvolvimento, não há fenômenos isolados. O movimento acontece pelo choque de opostos.

b – Tudo se transforma, sempre na direção de um estado de menor conflito interno

É o movimento, fruto dos opostos, que cria uma nova realidade, que muda a relação entre os entes de um determinado fenômeno.

c – Transição da quantidade à qualidade

O contínuo acúmulo de alterações quantitativas promove, ao final, uma mudança qualitativa. O aumento de calor de um líquido vai transformá-lo em vapor.

d – Luta dos contrários

Os elementos contraditórios de um fenômeno estão em constante conexão e conflito.

Engels (1863), apoiando-se em Hegel (1770–1831) e Descartes (1596–1650), e argumentando sobre a onipresença e a indestrutibilidade do movimento, afirma em seu magistral livro *A Dialética da Natureza*: “As diferentes formas da matéria só podem ser reconhecidas por meio do movimento; somente através dele se manifestam as propriedades dos corpos; de um corpo que não se move, nada se pode dizer... o movimento da matéria não é apenas o grosseiro movimento mecânico, a simples mudança de lugar; é calor e luz, tensão elétrica e magnética, associações e dissociações químicas, vida e, finalmente, consciência”.

Foi justamente um geólogo, o escocês James Hutton (1726–1797), quem 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”, ou seja, o planeta está em uma lenta e constante mudança.

3 – A DIALÉTICA DOS FENÔMENOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

A dinâmica dos fenômenos geológico-geotécnicos funda-se em três princípios essenciais:

3.a - 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.

3.b - 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 o estabelecimento de um novo EQUILÍBRIO.

ETAPA	CARACTERÍSTICAS
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 estado de equilíbrio.
Equilíbrio	Estado alcançado ou unilateralmente pela própria Natureza ou pela ação preventiva ou corretiva do Homem para evitar, mitigar ou controlar os fenômenos decorrentes (Reação) com o mínimo impacto negativo para o empreendimento gerador e para o meio ambiente afetado.

3.c - 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, estágio de alteração, textura, estrutura, índices de resistência, coesão, tensões internas, etc.

Tabela resumo do item 3 – A DIALÉTICA DOS FENÔMENOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

PRINCÍPIO	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.

4 – ALGUNS EXEMPLOS DO CONTEÚDO DIALÉTICO DE FENÔMENOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

4.a - Os **deslizamentos** (movimentos gravitacionais de massa) talvez sejam os fenômenos geológico-geotécnicos mais conhecidos e estudados pelos pesquisadores em geotecnia em todo o mundo. Sua ampla ocorrência tem sido causa de grandes tragédias, com perdas de vidas humanas e perdas patrimoniais, na história da Humanidade. Note-se que o deslizamento sempre traduz a busca pela Natureza de uma nova posição de equilíbrio.

Vejamos sua dinâmica no contexto de uma análise dialética, seja ele natural ou induzido por ações humanas.

CATEGORIA	CARACTERÍSTICAS
Tese	Encosta estável com equilíbrio dinâmico conquistado ao longo do tempo geológico envolvendo as variáveis: inclinação e forma da encosta, características geológicas e pedológicas, pluviosidade, cobertura vegetal.
Antítese	Desequilíbrio provocado por pluviosidade extraordinária (no caso de encostas naturais) ou por corte, desmatamento ou sobrepeso (no caso de intervenções humanas).
Síntese	Estabelecimento de uma nova situação de equilíbrio via ocorrência de deslizamento ou via implantação de obra de contenção compensadora do desequilíbrio provocado.

4.b – Todos os profissionais geotécnicos sabem das diferenças de comportamento geotécnico dos maciços em função do estágio de alteração de suas rochas matrizes: solos superficiais, solos residuais, solos de alteração saprolíticos, rocha alterada mole - saprolito, rocha alterada dura, rocha sã. Consideremos, pois, os fundamentos dialéticos do **processo geológico de intemperização das rochas** e formação de solos.

CATEGORIA	CARACTERÍSTICAS
Tese	As rochas magmáticas e metamórficas são formadas no interior do globo em condições extremas de temperatura e pressão, com o que esse ambiente extremo é o ambiente de formação e equilíbrio de seus minerais constituintes.
Antítese	Ao longo do tempo geológico as rochas assim formadas podem, por movimentos tectônicos e/ou erosivos, aflorar à superfície do planeta, com o que seus minerais constituintes confrontam um ambiente (pressões, temperaturas baixas, oxigenação...) totalmente diverso daquele de sua origem geológica.
Síntese	Frente ao desequilíbrio ambiental promovido os minerais entram em processo de alteração química (intemperismo) em busca de uma nova condição de equilíbrio ambiental com as condições atmosféricas terrestres. Os argilo-minerais são os que mais atendem essa nova condição de equilíbrio mineralógico-ambiental.

4.c – São comuns bolsões de **solos colapsíveis** em horizontes de solos derivados do intemperismo de diabásios (soleiras ou diques). Como os solos colapsíveis são passíveis de colapso de sua estrutura granulométrica, com redução de volume, frente a sobrecargas e variações de níveis de saturação, sua detecção prévia é indispensável para a correta escolha de métodos construtivos e de alternativas para fundações de empreendimentos.

CATEGORIA	CARACTERÍSTICAS
Tese	Terreno em pacote de solos derivado de intemperismo sobre diabásios. Presença não previamente detectada de bolsões de solos colapsíveis. Conjunto estável nas condições naturais do terreno.
Antítese	Empreendimento fabril construído sobre aterros sobrepostos ao pacote de solos de diabásio. Desequilíbrio geotécnico promovido pela sobrecarga do aterro e por variações de saturação propiciada pela infiltração de água a partir de tanque de retardo próximo e a partir de rompimentos da rede adutora enterrada de águas pluviais.
Síntese	Como resposta ao desequilíbrio imposto houve colapso granulométrico nos bolsões de solo colapsível com comprometimento estrutural do empreendimento fabril. Reestabelecimento do equilíbrio pela transferência de carga para novas fundações em estacas profundas.

4.d - Maciços rochosos em rochas magmáticas ou metamórficas sãs apresentam, de forma crescente com a profundidade, um estado interno de tensões (tensões in situ). Essas tensões podem ser derivadas do resfriamento diferenciado da lava original ou das altas temperaturas de um processo de metamorfização, do peso da parte superior do maciço ou de esforços tectônicos a que os maciços tenham sido submetidos posteriormente à sua constituição. Essas tensões in situ não tem evolução natural nem fenômenos delas decorrentes, uma vez que estão “aprisionadas” em estado de equilíbrio pela alta competência das rochas que as contém.

.No entanto, se obras de engenharia geram vazios subterrâneos (túneis...) abre-se a possibilidade de ocorrência de uma série de fenômenos de alto poder destrutivo decorrentes de processos de alívio de tensões “aprisionadas”. Fato que obriga sua detecção precoce para que a obra subterrânea adote providências adequadas para seu total controle e equacionamento.

CATEGORIA	CARACTERÍSTICAS
Tese	Maciço rochoso são apresentando tensões insitu. Conjunto estável nas condições naturais do maciço.
Antítese	Obra em túnel provoca desequilíbrio geotécnico com a descompressão do maciço, o que sugere a potencial ocorrência de fenômenos destrutivos por alívio das tensões in situ: <i>rockburst</i> (explosões de rocha), desprendimentos de placas, escamamentos, aparecimento de choccos, colapsos, etc.
Síntese	Detectada a possibilidade de fenômenos destrutivos de alívios de tensões in situ são adotadas providências de estabilização que podem envolver adequações da geometria do túnel e dos métodos de avanço da escavação, como também a sustentação por atirantamento da zona de relaxamento de tensões concomitantemente ao avanço da escavação. A determinação das tensões do maciço rochoso é realizada com a execução de ensaios profundos especiais, como a Sobrefuração com STT (stress tensor tube) e o Fraturamento hidráulico, como também por cálculos numéricos.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIEGO, S.E. “DIALÉTICA E O PRINCÍPIO DA COERÊNCIA” - Semana Acadêmica do PPG em Filosofia da PUCRS, VII Edição, 2011

ENGELS, F. “A DIALÉTICA DA NATUREZA” - 5.ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979. 240p. (Pensamento crítico, v.8).

HEGEL, G. W. F. “FENOMENOLOGIA DO ESPÍRITO” - (tradução Paulo Meneses). 5º ed. Petrópolis: Vozes. 2008.

SANTOS, A.R. - “GEOLOGIA DE ENGENHARIA: CONCEITOS, MÉTODO E PRÁTICA” - Livro. 4ª Edição ampliada, Editora Rudder – 2023 - livre acesso em <http://www.arsgeologia.com.br/>

* Geol. Álvaro Rodrigues dos Santos

- Ex-Diretor de Planejamento e Gestão do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- 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 e Geotecnia