

A ACUMULAÇÃO DE ENERGIA NA VIZINHANÇA DAS ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS E A SUA ESTABILIDADE

The accumulation of energy over the vicinity of the underground excavations and their stability

por
M. J. LEAL GOMES*

RESUMO — No presente trabalho procura-se analisar a fenomenologia da abertura das escavações subterrâneas à luz dos balanços de energia desenvolvidos na sua vizinhança e tecem-se considerações sobre algumas regras básicas relativas à estabilidade das escavações em função desses balanços.

SYNOPSIS — In this paper we try to analyse the problematic of the opening of the underground excavations attending to the energy balance considerations over their periphery and we do some remarks about basic rules related with the stability of the excavations and related with those balances.

1 — INTRODUÇÃO

A escavação de um vazio subterrâneo produz uma redistribuição das tensões, dependendo da sua forma e profundidade a que se encontra. Esse rearranjo corresponde a uma espontânea tendência da natureza para desenvolver todos os processos no seu seio no sentido da máxima estabilidade.

As regiões do espaço que interessam ao problema são as imediatamente vizinhas da escavação. Dependendo da sua forma, a perturbação introduzida no campo de tensões pela escavação dissipa-se a distância maior ou menor do contorno — considera-se insignificante em termos práticos a cerca de 2,5 vezes o raio (r) da escavação, se assimilável a um cilindro e apenas 1,5 vezes se o vazio for de conformação aproximadamente esférica (respectivamente em função de $1/r^2$ e $1/r^3$).

Os processos de rotura que eventualmente venham a ocorrer podem ser encarados como resultado da acumulação de esforços, mercê da redistribuição de tensões motivada pela escavação. O estado de tensão e deformação pode levar à desorganização da estrutura do terreno e à cedência. Com efeito a instalação das aberturas obriga a reorientações das direcções das tensões principais e estas afastam-se das posições iniciais, visando a manutenção do equilíbrio e/ou da compatibilidade do material na sua vizinhança.

* Engenheiro de Minas da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Pode acontecer que essa redistribuição implique excessos locais, suficientes para iniciar a rotura do terreno, entendida esta no seu mais amplo sentido, isto é, compreendendo também a ampliação das francas descontinuidades que existirem previamente. Se a posição dos blocos for adequada, é possível manter o seu equilíbrio, enquanto nessa região fragmentada vizinha da escavação se vão realizando os ajustes necessários à sua auto-sustentação.

«Grosso modo» pode entender-se este problema admitindo que em torno da escavação se produzirão fracturações, permanecendo os blocos em equilíbrio em função das superfícies de contacto que recebem os esforços, até os estados de tensão gerados entre os blocos não excederem a sua resistência individual. E realmente é bem conhecido o cuidado necessário à operação de remoção de fragmentos quando o contorno da escavação se apresenta muito fracturado. O equilíbrio estabelecido pode ser periclitante e desencadear reacções visando novas condições de equilíbrio que, inclusive, venham a afectar o terreno ainda não atingido por roturas, determinando a necessidade de uma profunda reorganização do campo de tensões instalado no terreno. Este processo pode ser responsável por desmoronamentos mais ou menos importantes, cuja extensão e consequências são difíceis de prever no espaço de tempo que interessa à segurança de homens e equipamentos.

Na prática, a realidade não é tão severa se houver a imprescindível prudência na condução dos trabalhos, integrando a experiência obtida num número suficientemente grande de situações de obra, no tipo de terrenos em apreço.

Outra forma de encarar o problema do comportamento associado à escavação é em termos de balanços energéticos. Admita-se por hipótese que a energia armazenada num maciço rochoso intacto é basicamente de três tipos: energia mecânica (E_g) devida ao peso próprio do terreno e às convulsões tectónicas por que ele passou, calor (Q), principalmente de origem geotérmica, e energia armazenada ao nível da estrutura cristalina (E_a). A soma destas três parcelas constitui a energia potencialmente mobilizável ou transformável em energia de deformação (E_d), energia despendida na produção de novas superfícies (E_s), energia cinética (E_c) e calor (Q'), quando se abre uma escavação.

Admitindo que o processo de fracturação do contorno numa escavação se possa considerar na maioria dos casos como praticamente isotérmico — tendo em mente que o aquecimento das peças de perfuração e o produzido pelos explosivos não tem efeitos directos sobre o processo de desmonte —, virá:

$$J E_m + L E_g + M E_a + N Q = E_s + E_c + E_d + Q' + K R \quad (1)$$

onde J , L , M , N , K são funções que representam a participação das respectivas parcelas de energia na formação da abertura, E_m é a energia comunicada ao terreno pelo processo de desmonte e R representa as perdas do processo, no que respeita a ineficiências do sistema e a fracções de energia dissipadas em mecanismos de menor importância e ($Q' - NQ$) aproximadamente nulo. Uma vez realizado o contorno, nas deformações em curso a parcela $K R$ terá um papel insignificante.

Por vezes há ainda a considerar no primeiro membro de (1) os efeitos da energia sísmica de desmontes próximos e abalos sísmicos ($I E_{si}$) que podem determinar alterações do equilíbrio, acção esta que podendo ser importante, mas somente esporádica, não é aqui considerada.

2 — RIGIDEZ E ACUMULAÇÃO DE ENERGIA

Num material perfeitamente rígido as partículas mantêm as suas posições relativas sob a acção das solicitações. Se o sólido tiver módulo de elasticidade finito enquanto essa estrutura vai sendo carregada há oscilações ou variações na distância entre partículas. A plastificação surge quando a organização inicial é destruída, constituindo-se uma função de cedência. Por isso um material rígido tende a conservar a sua forma e dissipa a energia dos carregamentos recebidos rompendo de maneira súbita (comportamento frágil) enquanto um material plástico como que se escoia, deformando-se sob tensão constante (comportamento dúctil). Para haver energia mecânica restituível é preciso um comportamento em que as partículas, sem perderem a sua posição predeterminada no edifício cristalino, podem sofrer significativas modificações de posição que conferem aos corpos uma energia potencial adicional, acumulada ao nível de E_a . Diz-se que esse comportamento é elástico.

E_a corresponde ao trabalho realizado pelas forças instaladas no maciço para realizar as deformações, as quais, em maciços de pior qualidade, têm de ser contrariadas com a aplicação de suportes se se quiser garantir a integridade do perfil projectado.

E_s é a fracção da energia potencial que determina o estabelecimento duma fragmentação mais ou menos intensa e é função da soma das superfícies livres dos fragmentos produzidos no arranque e na clastificação do maciço remanescente.

O alívio das tensões instaladas no terreno, em condições correntes, faz-se à custa da deformação e fracturação da rocha, sendo as restantes parcelas deste processo pouco significativas. Portanto o meio de se evitar essa fracturação e essa deformação consiste em procurar evitar o alívio dessas tensões, reintroduzindo-as por meio de suportes activos ou usando suportes passivos que, sem impedir na íntegra os deslocamentos, facilitem os ajustes essenciais do processo, de modo a não se esforçarem excessivamente esses suportes e ser impedida a desarticulação do maciço, deste modo se evitando futuras sobrecargas sobre os revestimentos. As entivações de madeira e de aço, materiais suficientemente dúcteis para cederem sem perda de resistência apreciável, e, ainda melhor, o betão projectado, que alia a sua elevada resistência ao perfeito atacamento contra o contorno, evitando o relaxamento global do terreno, através de deformações excessivas e facilitando as acomodações locais, são suportes que satisfazem tais requisitos.

Ora, é frequente a instalação de suportes com a intenção de controlar as deformações do terreno e verificar-se que eles cederam ou contribuíram para uma fracturação localizada do terreno ainda mais intensa.

Isso acontece porque, tendo o suporte uma rigidez excessiva, leva a energia de deformação a acumular-se no terreno, obrigando o contorno a crescentes cedências até se produzirem roturas, quando o terreno alivia as tensões instaladas (Fig. 1). Prosseguindo o carregamento, o próprio suporte poderá acabar por romper como resultado da concentração de tensões, mesmo sem indícios prévios significativos em termos da sua deformação. Este processo depende da natureza do maciço e para o fenómeno ser aparente e sugestivo terá de haver contraste entre a rigidez do terreno e a dos suportes.

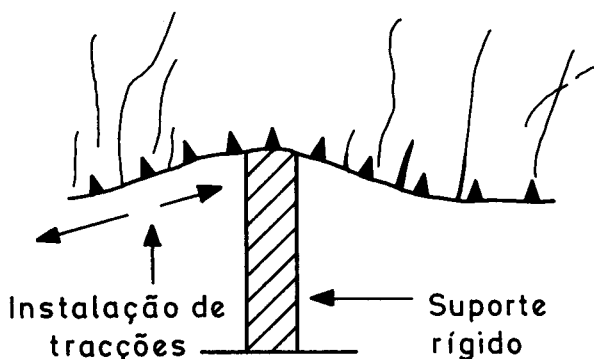


Fig. 1

Pelo contrário, se o terreno for bastante mais rígido do que os suportes, então a energia de deformação acumular-se-á nestes fazendo-os ceder. Há ainda outra situação, talvez mais usual, em que o material rochoso, completamente fracturado, carrega os suportes que cederão se não estiverem dimensionados para suportarem tal peso.

Convém pois ter sempre em mente que convém evitar que a energia potencialmente mobilizável se concentre na vizinhança do contorno da escavação, aumentando as parcelas E_s , E_c e E_d . Para controlar as convergências do contorno, tendo em vista a segurança da escavação, convirá desviá-la da periferia — e nesse sentido a clastificação em torno da abertura pode ser útil — ou contê-la com pilares do próprio terreno ou suportes de adequada rigidez.

As perspectivas expostas não são independentes e completam-se, porque se terão de controlar excessivas convergências reintroduzindo tensões ou confinando as deformações. No caso de os suportes serem activos, reintroduzindo tensões no maciço, convirá que se restabeleça o equilíbrio alterado pela escavação, sem provocar roturas por corte, mercê da aplicação de esforços que excedam a resistência do terreno.

Uma vez libertada uma fracção importante das tensões instaladas, é muito difícil restituir as tensões ao maciço, quer porque a orientação das tensões principais se alterou em torno do vazio quer porque no volume de terreno em que se deu a libertação de tensões, agora cheio de fissuras incipientes ou francas e com deformações irreversíveis, a rigidez se terá reduzido a

uma fracção da do maciço intacto. Por um lado o terreno apenas dispõe duma fracção da resistência inicial, não suportando elevadas recompressões, e por outro haverá que usar de cuidados especiais na aplicação dos suportes activos, pelas razões atrás referidas. Exceptuam-se evidentemente os maciços de tão elevada qualidade que, em relação com os vazios neles praticados, não sofram modificações apreciáveis de resistência e deformabilidade na vizinhança das escavações.

Sob o ponto de vista da estabilidade do contorno, haverá muitas vezes vantagem em usar suportes activos, se o terreno os viabilizar, porque desse modo se evitará significativa libertação de energia mecânica armazenada no maciço. Os suportes passivos têm um papel essencialmente receptivo, ambos devendo tirar partido da capacidade estrutural remanescente, mas significativa, do terreno.

3 — PLASTIFICAÇÃO E VISCOSIDADE

Em alguns casos, em lugar de haver cedência do terreno com a fracturação do maciço, pode haver o rearranjo a nível da estrutura íntima da matéria, traduzida em plastificações mais ou menos intensas da vizinhança do contorno. Este aspecto é importante e favorável porque, ocorrendo, a própria rocha absorverá excessos de energia, independentemente de esporádicas fracturações locais muito fáceis de resolver. A estabilidade do arqueamento (entendido como um efeito de auto-sustentação dos blocos em torno da abóboda da escavação) é muito mais duvidosa por serem os blocos solicitados directamente pela gravidade, enquanto que entre eles existe apenas uma resistência residual.

Neste caso (1) assumirá a forma

$$E_p = J E_m + L E_g + M E_a + NQ - (E'_s + E'_c + E'_d + Q' + K'R') \quad (2)$$

onde a parcela Q' já pode ter um papel significativo e E_p é a energia dissipada na plastificação. Às profundidades que interessam a maioria das obras civis o calor geotérmico é pouco significativo.

Esta relação mostra que a plastificação se deu sobretudo à custa da energia mecânica armazenada no maciço e da energia correspondente às ligações interatómicas e intermoleculares rompidas e eventualmente reorganizadas. Admite-se que haja neste caso rearranjo da estrutura cristalina se bem que, pela acção do homem e no tempo que essa actividade envolve, julguemos que só excepcionalmente tenham lugar modificações de natureza mineralógica. Consumida que foi uma energia de plastificação finita no interior da região plastificada, não há o risco do prosseguimento indefinido do escoamento e de novas deformações plásticas no sentido vazio.

Impedindo que variação de tensões no tempo leve ao desenvolvimento de fracturações inconvenientes, isto é, impedindo que o escoamento viscoso dos materiais prossiga até à rotura

(por exemplo pelo uso de suportes que limitem as deformações), é possível introduzir em certos terrenos quantidades de energia capazes de conferirem ao material em apreço certa plasticidade que o leve a reorganizar-se estruturalmente. Por exemplo no caso dos evaporitos, esse efeito é aparente, traduzindo-se num comportamento plástico típico a partir de níveis de solicitação relativamente reduzidos.

Tratando-se de materiais rochosos de maior rigidez, cheios de descontinuidades intercristalinas e de imperfeições micro e macroscópicas, as possibilidades de que ocorram antes fraturas são maiores. Mas, se o estado de tensão for muito severo, pode ocorrer plastificação em função dos rearranjos que, sob pressão elevada, não forem impedidos pelos vazios, microfissuras e descontinuidades.

Tanto esse material estruturalmente reorganizado através de severos confinamentos como o esmagado sob pressões elevadas podem adquirir comportamentos peculiares com uma importante componente plástica.

A plastificação nos sentidos aqui expostos é sempre favorável à auto-sustentação ou à conservação de uma capacidade estrutural remanescente importante e à colocação de suportes e revestimentos aligeirados. Entre a zona mais afastada do maciço, onde as tensões se podem redistribuir em função das variações energéticas que nele forem ocorrendo, e o revestimento que convém que fique regular e uniformemente carregado, situa-se essa região plastificada onde as tensões se distribuem no seio da própria massa rochosa, aliviando suportes e eventualmente o revestimento de sobrecargas inconvenientes.

A “clastificação” (rotura por corte ou tracção) não só é um processo muito diferente de uma típica plastificação como conduz a efeitos menos favoráveis. Não há o real benefício da reorganização do material em torno da escavação.

Admitimos que a plastificação evoluirá a partir dos locais onde se verificar o estado de tensão mais desfavorável e prosseguirá estendendo-se ao maciço envolvente, embora possam ocorrer clastos com a sua estrutura original intacta nessa matriz plastificada.

É comum o terreno apresentar uma componente viscosa, o que beneficia bastante a abertura das escavações, pois a restituição da energia não se faz imediatamente após a escavação e é possível realizar em maior segurança os trabalhos de suporte e/ou tratamento que as circunstâncias aconselharem. Esse efeito é particularmente importante a grande profundidade, onde as tensões excedem a resistência do terreno e esse atraso proporciona o tempo necessário à execução dos trabalhos de consolidação que forem precisos.

Convém ainda referir que a grandes profundidades os problemas de escoamento plástico do terreno a longo prazo podem assumir importância, causando transtornos inesperados, por o terreno ceder sem variações adicionais das tensões, além das permitidas por essa reologia viscosa. Se o terreno possui um comportamento próximo do elástico, mesmo assim convém verificar como se comporta a longo prazo sob carga constante, atendendo à possibilidade do desenvolvimento de uma fracção viscosa.

Por outro lado, pela sua acção lubrificante e por determinar pressões hidrostáticas que diminuem as tensões normais nos contactos entre blocos, ao longo de descontinuidades, a

ocorrência de água é inconveniente, contribuindo para a diminuição da estabilidade em função das circunstâncias em que se desenvolve a obra. Aumenta além disso os esforços sobre os revestimentos obrigando a sobredimensioná-los. E este efeito é tanto mais desfavorável quanto, a despeito de eventuais drenagens que nos maciços se realizem, para alívio de subpressões, se trata de solicitações que se exercem em torno das escavações, obrigando a prevenir reforços até nas paredes e pisos, em função da altura da coluna hidrostática ou redes de percolação.

4 — ROTURAS SÚBITAS

A grande profundidade tende a considerar-se hidrostático o estado de tensão instalado no terreno. Isso significa que não há geralmente motivos para considerar teoricamente diferentes os balanços de energia relativamente ao tecto, ao piso e às paredes, em escavações circulares. Na prática há a necessidade de prevenir situações peculiares e locais, podendo aquelas regiões comportar-se de maneira diferente.

Sob o estado de tensão instalado nessas profundidades, o facto de a rocha se mostrar praticamente intacta não tem um significado absoluto. Pelo contrário a situação exigirá cuidadosa avaliação sempre que o estado de tensão reinante exceder a resistência uniaxial do material rochoso. Nestas condições, ou a energia mecânica na vizinhança das escavações se dissipa através de fracturações e plastificações ou se irá acumulando na sua periferia, em função da viscosidade do terreno até se realizarem as condições para a sua dissipação. Em material frágil, uma vez instalado na periferia um estado de tensão que exceda a sua resistência, a libertação da energia mecânica armazenada far-se-á de maneira súbita, com fracturação repentina do material e lançamento de lascas à distância.

Neste caso convirá aplicar suportes ou revestimentos suficientemente adaptáveis às deformações desenvolvidas, para que os esforços se acomodem internamente, no maciço, constituindo assim uma protecção efectiva.

A aplicação de um revestimento rígido pode ser desaconselhável, por não ser capaz de absorver sem danos o carregamento imposto pelo terreno. Atingindo o seu limite de resistência, romperá globalmente e cederá às deformações impostas pelo maciço, as quais poderão ser importantes.

Em princípio, as possibilidades de acumulação de energia de deformação num terreno variam, aproximadamente, com o inverso do módulo de deformabilidade (para a mesma tensão). Por outro lado os materiais existentes a grande profundidade são geralmente rochas bastante compactas, de elevada resistência, o que permite o armazenamento de importantes quantidades de energia. Se o terreno tiver uma maior rigidez, nele se acumularão montantes de energia que solicitarão a resistência do terreno antes da do revestimento. Neste caso convirá que o revestimento seja resistente, mas menos rígido, de modo a acomodar os deslocamentos que se processaram no interior do maciço. Pelo contrário, se o terreno tiver rigidez inferior acumular-se-á energia no revestimento, o que o solicitará. A possibilidade de que nele ocorram roturas generalizadas, que ponham em risco a segurança global do empreendimento, é mais elevada.

Pode deste modo acontecer que uma rede de galerias e câmaras mercê, principalmente, da viscosidade do terreno venha a romper subitamente em função da acumulação de energia na sua periferia. Com a desorganização local do equilíbrio inicial, apenas a viscosidade da rocha, a libertação diferencial da energia, o empolamento do terreno e os suportes podem deter a reacção em cadeia que tende a desenvolver-se. É nessas condições que se desenvolvem os golpes de terreno de tão triste memória, típicos de trabalhos subterrâneos profundos em maciços com comportamento frágil.

5 — A ENERGIA DE DESMONTE

O desmonte do terreno faz-se à custa de uma energia aplicada ao material rochoso “in situ”. Convém analisar com algum detalhe a função desempenhada por E_m e R na equação (1). Essa energia pode ser representada pela expansão de gases de explosivos, pela energia sísmica das ondas respectivas, ou pelo uso de equipamentos de escavação.

Apenas uma fracção dessa energia é efectivamente útil sendo que a restante se perde sob a forma de calor, ineficiência do equipamento e na fragmentação inútil do conteúdo escavado.

É muito difícil separar a participação de E_m e E_g na realização dos desmontes, a menos que as situações sejam de todo desfavoráveis à participação da energia mecânica do terreno, ou que antecipadamente se preveja que a rocha se desmontará naturalmente sem a participação de outros meios. Trata-se de situações peculiares, a examinar caso por caso.

Admitamos por razões de simplicidade que o perfil projectado é obtido à custa de $J E_m$. É bem conhecido o insucesso de alguns processos de desmonte. A adequação dos meios ou equipamentos à realização do vazio é muito importante. Primeiro por razões de economia. Não faz sentido usar um explosivo de alta velocidade num terreno brando ou uma pólvora num quartzito compacto. No primeiro caso os efeitos da onda perder-se-ão e no segundo a pressão dos gases não será suficiente para desmontar o terreno. Por outro lado essa energia que se perde descontroladamente pode ter efeitos secundários de monta sobre a estabilidade da própria escavação e outras obras vizinhas. Vem a propósito referir que parte dos golpes de terreno parecem ter relação directa com acções dinâmicas de ondas provenientes de desmontes ou sismos. Não só a energia dos desmontes é uma acção complementar da energia elástica armazenada no terreno e portanto capaz de desencadear roturas inesperadas pelos processos atrás referidos, como introduz vibrações no terreno cujos efeitos frequentemente escapam às mais cuidadosas previsões, graças às anisotropias, heterogeneidades e descontinuidades do meio onde se propagam. Podem, inclusivamente, essas ondas ter aceleração que proporcione deslocamentos perigosos e incompatíveis com a tão desejada estabilidade das escavações. Este é um assunto bastante complexo e ainda insuficientemente esclarecido quanto às consequências práticas que é possível tirar dos modelos teóricos existentes para escavações subterrâneas.

Convém pois usar técnicas que dissipem rapidamente a energia das ondas ou equipamentos que produzam poucas vibrações. As técnicas de pré-fissuração e desmonte amortecido são muito úteis no controle de vibrações e limitação dos seus efeitos sobre o terreno envolvente.

6 — INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA E DIMENSÕES DAS ESCAVAÇÕES

Relativamente à segurança dos trabalhos, há que ter grandes cuidados com a geometria da escavação, enquanto não convenientemente suportada e revestida. Na Fig. 2 expõe-se uma regra básica aplicável sobretudo em meios elásticos. A maneira clássica de adaptar a forma das escavações consiste em alongá-las no sentido das maiores componentes desse campo de tensões. Se essa adequação da forma ao campo for a mais conveniente, formar-se-á em torno do vazio um arco onde as tensões de corte são constantes, como convém à segurança do vazio.

A literatura da especialidade tem dedicado maior atenção ao projecto da abóbada esquecendo frequentemente que a cada terreno e a cada estado de tensões instalado deveria corresponder uma geometria. Com efeito, às profundidades que interessam à maioria das obras civis importa sobretudo prevenir a queda de blocos do tecto. Só se o maciço for de muito má qualidade se mobilizarão deformações tais que as paredes e o piso sejam seriamente afectados. Todavia, o uso de equipamentos de escavação e rolagem padronizados e as funções específicas a que se destinam as escavações levam a afastamentos mais ou menos acentuados dessas formas ideais, obrigando a reforços e precauções maiores. Se o material rochoso for de boa qualidade, continua a haver uma grande margem de liberdade no projecto dessas escavações pois são muitas vezes auto-sustentáveis. Pelo contrário, se o terreno for de má qualidade deverá fazer-se a escavação tendo em mente os suportes que serão utilizados e procurando remover, na secção a abrir, aqueles materiais que mercê de inadequada acumulação de tensões (compressões e tracções) possam ser sede de fracturações, com os consequentes problemas que acarretam. É muito vulgar a secção em ferradura ou com abóbada circular, nesses terrenos pobres. Têm a finalidade específica de remover o terreno que pela sua posição se prevê à partida que venha a fracturar. Também certos equipamentos de perfuração contínua vulgarizaram as secções circulares.

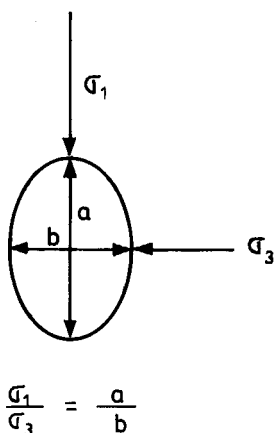
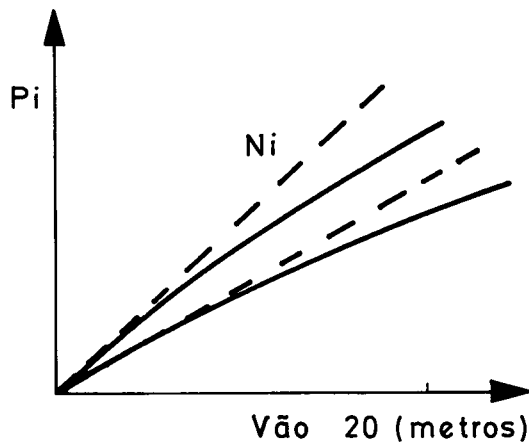


Fig. 2

Sobre as dimensões das escavações, há que atender a que, com o seu aumento, se os terrenos forem de má qualidade ou muito fracturados, para dado tamanho dos blocos vai sendo cada vez mais difícil manter o arqueamento, tendo em atenção a componente vertical do peso que solicita directamente a queda dos blocos contra um crescimento muito menos significativo das componentes que produzem o confinamento lateral dos mesmos.

Todavia, pode admitir-se que as pressões a exercer pelos suportes (principalmente tirantes) crescem não linearmente com os vãos para determinada qualidade do terreno, para convenientes geometrias das escavações com dimensões que os não inviabilizem (Fig. 3).



Pi Pressões a aplicar pelos suportes no contorno

Ni Parâmetros dependentes da geologia do terreno

Fig. 3

Nas concepções usuais das escavações em forma de ferradura, há tendência para se formar uma zona descomprimida no fecho da abóbada da escavação que crescendo em função das dimensões dos vazios poderão exigir um suporte mais severo. Assim há que projectar o perfil da escavação de modo a garantir a máxima contribuição do arqueamento no suporte da zona descomprimida, procurando diminuir os vãos mas tendo em mente que afinal uma conveniente aplicação de tirantes e betão projectado produz um afastamento da envolvente de rotura desse arqueamento ao ponto de o fazer funcionar globalmente como uma estrutura resistente (Fig. 4).

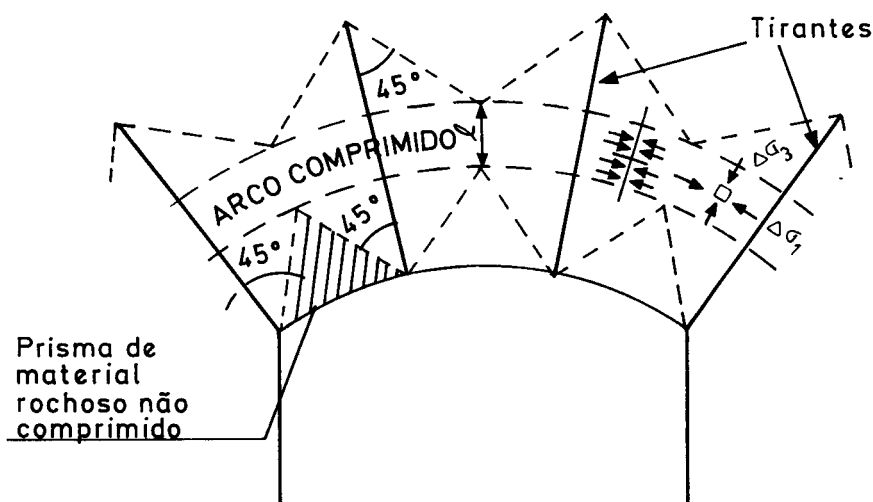


Fig. 4

7 — CONCLUSÃO

Procurámos dar uma noção abreviada e qualitativa dos factores que afectam a acumulação de energia em torno das escavações e das implicações desse processo nas medidas imediatas de suporte e revestimento a adoptar em relação com as mais comuns reologias dos terrenos. A maior dificuldade no estabelecimento dos balanços relativos à igualdade (1) está na adequada avaliação da participação dos diversos tipos de energia e na forma das funções J , K , L , M , N , K , R , I , que, embora podendo eventualmente ser estabelecidas por cálculo, exigem principalmente investigação experimental, tantos os factores que na prática estão envolvidos e influem no problema (tipos de terrenos, anisotropias, heterogeneidades, descontinuidades, reologias, o tipo de escavação, os métodos de abertura e suporte). Contudo, julgamos que a observação do problema da estabilidade das escavações sob o prisma aqui sucintamente enunciado poderá trazer contribuições que beneficiem a compreensão do projecto e execução de obras subterrâneas.

BIBLIOGRAFIA

- FOLQUE, J.; NEVES, M. — *Estudos Avançados de Mecânica dos Solos*. LNEC, Lisboa.
 GOMES, M. J. L. (1979) — *Crítérios de Dimensionamentos de Ancoragens em Escavações Subterrâneas*. «Geotecnia» n.º 25, SPG, LNEC, Lisboa.
 MENDES, M. (1968) — *Mecânica das Rochas*. AEIST, Lisboa.