

NOVA SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE JAZIDAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Vanildo de Almeida Mendes^{*1}

Júlio César de Souza²

Oberdan José de Santana³

¹ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - PE, * vamendes@cprm.gov.br

² Universidade Federal de Pernambuco

³ Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

A análise estrutural de um maciço rochoso constitui uma ferramenta de fundamental importância no planejamento da lavra de rochas ornamentais. O texto em tela trata de estudos desenvolvidos na pedreira do Granito Frevo, que se trata de um paragneisse migmatizado de cor róseo-avermelhado. Os parâmetros estruturais (foliação, lineação, etc) obtidos durante o levantamento foram tratados em projeção estereográfica (rede de Schmidt), com a finalidade de obtenção dos eixos de compressão máxima e mínima. A análise do fraturamento distinguiu duas direções principais do cisalhamento dispostas nas direções 50Az e 350Az, com fraturas de tensão orientadas nos intervalos de 20 a 30Az e 300 a 320Az. A interpretação dos diagramas, conjugada com a análise do elipsóide de tensão, permitiu concluir que a melhor direção para se efetuar o corte da pedreira, de forma a provocar o alívio das tensões, sem fissurar a rocha é SE-NW (pode ser mais preciso p. ex. S40E)..

Palavras chave: Rochas ornamentais, avaliação de reservas, granitos, fraturamento, tensões residuais

ABSTRACT

The structural analysis of a solid stone constitutes a tool of fundamental importance in the ornamental stone quarry planning. This work deals with structural study developed in the Frevo Granite quarry, which is composed of migmatized paragneiss of pink-red color. The parameters obtained during the field work were treated in stereographic projection (Schmidt net), with the purpose to obtain the axes of maximum and minimum compression. The analysis of the fracture systems distinguished two main directions of shear* 50Az and 350Az, with tension fractures directions into two intervals: the first 20 to 30Az and the second 300 to 320Az. The interpretation of the diagrams, conjugated with the analysis of the tension ellipsoid, allowed to conclude that the best direction to perform the cut of the quarry, in way to have the relief of the tensions, without splitting the rock is SE-NW. OBS. A direção pode ser mais precisa como já mencionado no RESUMO.

Keywords: Ornamental stones, resources evaluation, granites, fracturement, residual tensions

INTRODUÇÃO

As dimensões e qualidade dos blocos obtidos nas operações de lavra dependem **principalmente** da natureza e equidistância dos fraturamentos associados à distribuição das tensões atuantes em um maciço rochoso.

Esta pesquisa foi realizada em um amplo maciço aflorante do migmatito róseo-avermelhado, situado no município de Sertânia-PE. Durante o transcorrer das atividades foi realizado, em consonância com o estudo estrutural da área, o mapeamento geológico de detalhe do setor, em escala 1:1000.

Para a análise destas deformações rúpteis, inicialmente efetuou-se a medição e caracterização geométrica dos cisalhamentos observados, incluindo as fraturas

verticais e as preenchidas por veios pegmatíticos. Em seguida, foi elaborado o tratamento dos dados, através do método de projeção estereográfica (rede de Schmidt), determinada a distribuição das tensões ao longo maciço e a melhor direção de corte para a abertura da pedreira.

LOCALIZAÇÃO

A área estudada situa-se no Sítio Jaú, distando cerca de 10 km a sudeste do município de Sertânia, na Região Semi-árida do Estado de Pernambuco. Compreende um maciço aflorante, com cerca de 220 m de extensão, por 150 m de largura e altura média de 10 m. Topograficamente destaca-se no relevo arrasado que circunda a área, dispondo-se na direção ESE – NNW em concordância com a estruturação regional (Fig. 1).

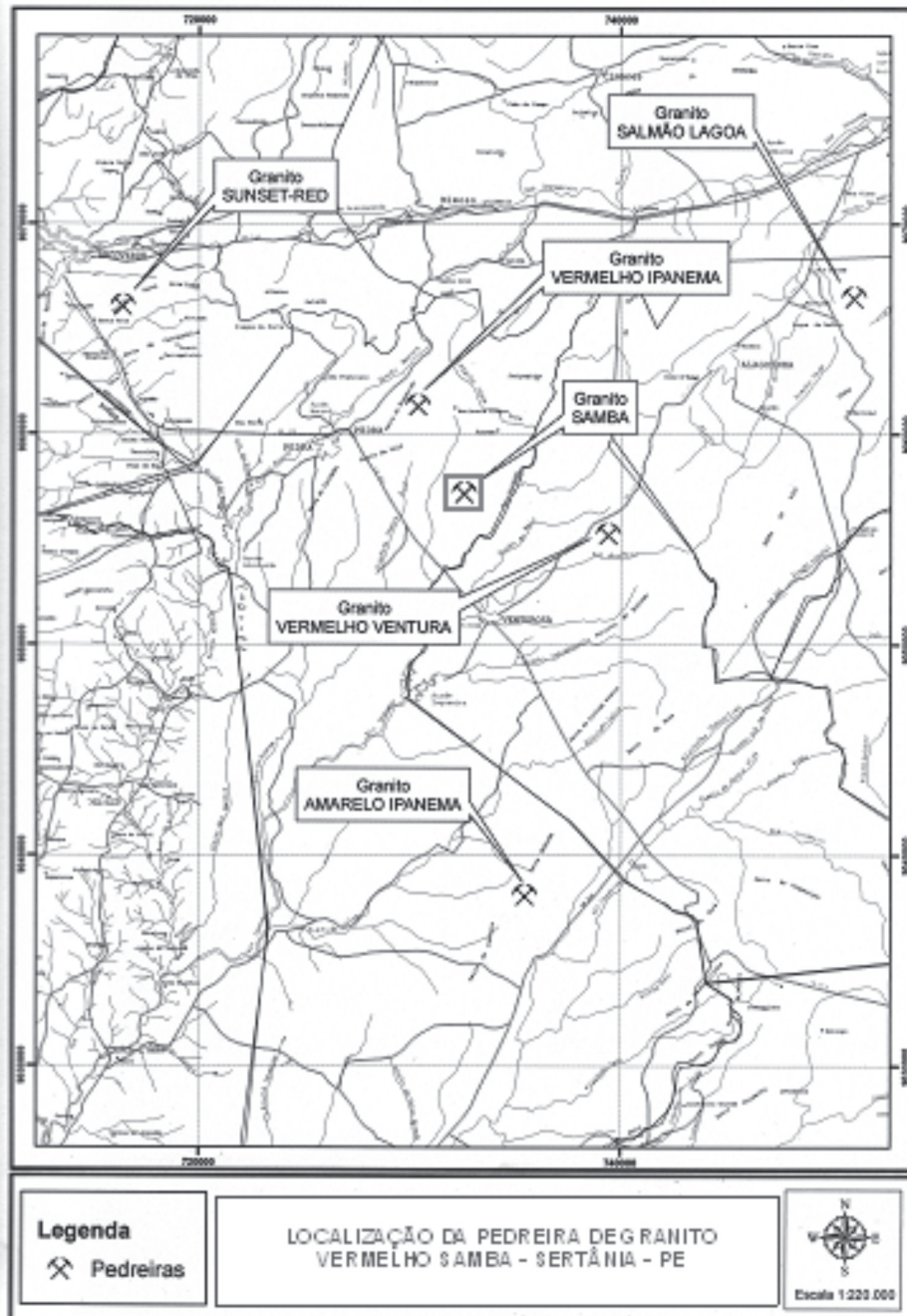


Figura 1 – Mapa de Situação da Pedreira do Sítio Jaú

CONTEXTO GEOLÓGICO DA PEDREIRA

Em termos geológicos o jazimento insere-se no Terreno Alto Moxotó, mais precisamente nos gnaisses mesoproterozóicos do Complexo Sertânia, localmente submetida à intensa migmatização. A rocha mostra-se constituída por faixas cinza-escura com leitos de tonalidade róseo-avermelhada, os quais se apresentam deformados e dobrados. Os níveis róseo-avermelhados constituem o deno-

minado neossoma e possuem composição granítica, sendo formados essencialmente por quartzo, K-feldspato e pontuações de biotita. As faixas escuras correspondem ao paleossoma, mostram-se ricas em biotita, contendo ainda quartzo e granada. Tal composição, rica em alumossilicatos confirma uma origem paraderivada para a rocha. No geral, trata-se de um biotita gnaíse granadífero intensamente migmatizado, onde se observam estruturas flebíticas, nebulíticas e localmente schlieren (Fig. 2).



Figura 2 - Vista do migmatito Vermelho Samba em bancada aberta em uma frente de lavra antiga da pedreira, aproximadamente na cota 320 m, próxima à superfície aflorante do maciço, onde nota-se a intensa deformação plicativa a que foi submetido. Falta escala!

O estudo em secção delgada identificou textura lepidoblástica, bem orientada, com neossoma granular definido por níveis félsicos, intercalados com leitos máficos ricos em biotita, granada e opacos, contendo ainda quartzo e plagioclásio. A ausência de microfissuras e de minerais de alteração nos permite antever, que a rocha deve possuir baixo índice de porosidade e boa resistência mecânica, para aplicação em

termos de material para fins ornamentais. Em placa polida, este migmatito se apresenta constituído por faixas alternadas de tonalidade róseo-avermelhada e preta. Os níveis félsicos mostram-se mais espessos, visivelmente dominantes e intensamente deformados. Tal feição empresta ao conjunto um aspecto uniforme e harmonioso, de rara beleza e notável aspecto estético-decorativo (Fig. 3).



Figura 3 - Feição em chapa polida do Granito Frevo

O maciço aflorante mostra-se pouco afetado por fraturas e com poucas ocorrências de veios, enclaves máficos, diques pegmatitos e corpos de leucogranitos. Além da pequena quantidade, tais feições, que se constituem imperfeições nas rochas ornametais são dispostas de forma espaçada pelo afloramento, o que facilita as operações de exploração de blocos dentro dos padrões do exigente mercado internacional.

Em contato com estes migmatitos (vide mapa Geológico - Fig. 4) ocorrem biotita gnaisses granadíferos bastante deformados e eventualmente migmatizados,

com neossoma rico em quartzo e plagioclásio. Tais paragnaisses ocorrem também como restitos, no interior da massa migmatítica de cor róseo-avermelhada. Dispostos de forma discordantes e em certos casos concordantes com a estrutura regional ocorrem corpos e diques de pegmatitos de coloração róseo-avermelhada e de leucogranitos equigranulares de granulação média, rico em quartzo, K-feldspato e com pouca biotita. Tais plutonitos, mostram-se destituídos de foliação e devem ter intrudido na fase tardi a pós-tectônica ao Neoproterozóico (ciclo Brasileiro), o qual constitui o último evento que afetou a área.

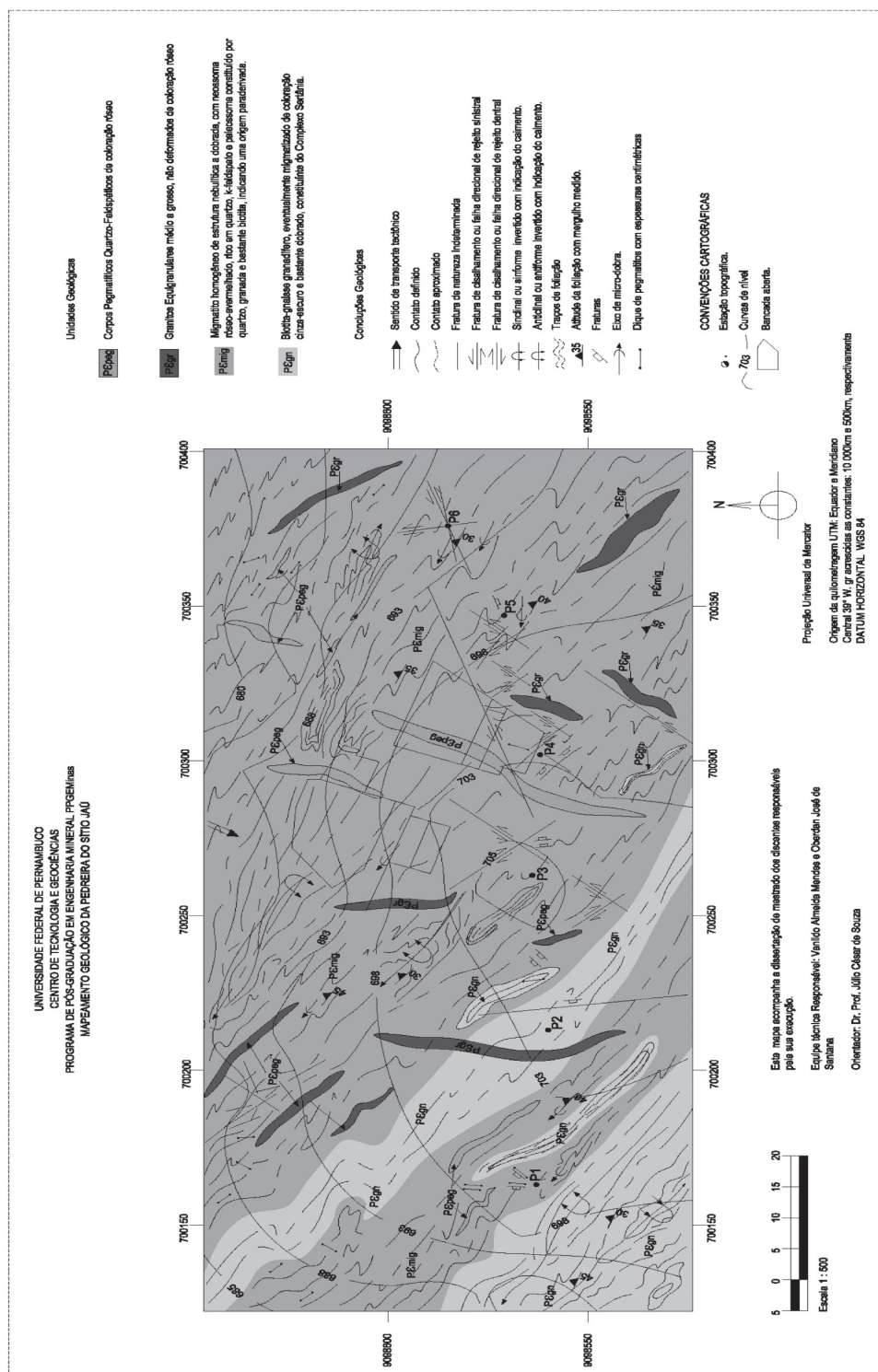


Figura 4 - Mapa Geológico de Detalhe do Maciço Rochoso

ANÁLISE ESTRUTURAL DA ÁREA

A área em apreço foi palco de uma intensa atividade tectônica, documentada por 3 (três) fases de deformações plicativas. A primeira evidenciada pela foliação S_n e dobras intrafoliais apertadas, afetadas por dobramentos inclinados a recumbentes da fase F_2 de plano axial sub-horizontal com caimento do eixo entre 15° e 25° na direção $310Az$, sendo coaxial aos dobramentos anteriores.

Tais deformações foram geradas em um regime nitidamente tangencial, o qual foi responsável também pelo alto grau metamórfico (fácies anfibolito), que afetou toda esta seqüência metassedimentar. Progressivamente a área foi palco da atuação de uma tectônica transcorrente, a qual originou as dobras F_3 de plano axial sub-vertical e deformou os dobramentos pretéritos, tendo inclusive afetado e crenulado a foliação S_n e S_{n+1} . Observa-se ainda o fechamento da foliação formando estruturas dômicas tipo padrão casca de ovos, correspondendo provavelmente a figuras de interferência tipo I de Ransay (1967).

Como resultado deste esforço compressivo e da tectônica transcorrente que atuou sobre a área, originaram-se **fraturas de cisalhamento*** nas direções $50Az$ e $350Az$, com movimentos de rejeito sinistral e dextral respectivamente. Convém frisar, que tais fraturas acham-se relacionadas às direções de falhamento regionais. Tal disposição das estruturas rúpteis, quando confrontadas com a foliação S_n de direção $300Az$, permite afirmar que **os cisalhamentos*** em questão, cons-

tituem um par conjugado, estando o eixo de compressão máxima τ_1 disposto na bissetriz do ângulo formado entre os dois cisalhamentos, isto é na direção $30^\circ Az$, enquanto as fraturas de tensão situam-se nos intervalos de 20° a $30^\circ Az$ e 300° a $320^\circ Az$ respectivamente.

ANÁLISE DO FRATURAMENTO E USO DAS TÉCNICAS DE PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA

Além do mapeamento e levantamento detalhado das estruturas detectadas, foi executado um processamento minucioso dos dados relativos aos planos de fraturas, e em seguida criado um banco de dados, para a elaboração de futuros modelos de descontinuidades. Posteriormente os parâmetros obtidos sobre o fraturamento estudado foram tratados e correlacionados com a interpretação dos mesmos através do diagrama de rosetas.

Análise dos diagramas de projeção estereográfica (Figs. 5 e 6) e o de rosetas (Fig. 7) mostram que as fraturas de cisalhamento detectadas dispõem-se nas direções $350Az$, com movimento dextral e $50Az$ de cinemática sinistral. Tais fraturamentos formam um par conjugado, cuja bissetriz do ângulo formado pelo cruzamento destes cisalhamentos, corresponde à direção de compressão máxima atuante representada por π_1 . A interpretação destes diagramas (representada na Fig. 6) permite visualizar que paralela ao π_1 ($30^\circ Az$), têm-se uma direção de fraturas de tensão, e uma outra também de distensão perpendicular ao eixo de compressão máxima e disposto nas direções 300 a $310 Az$.

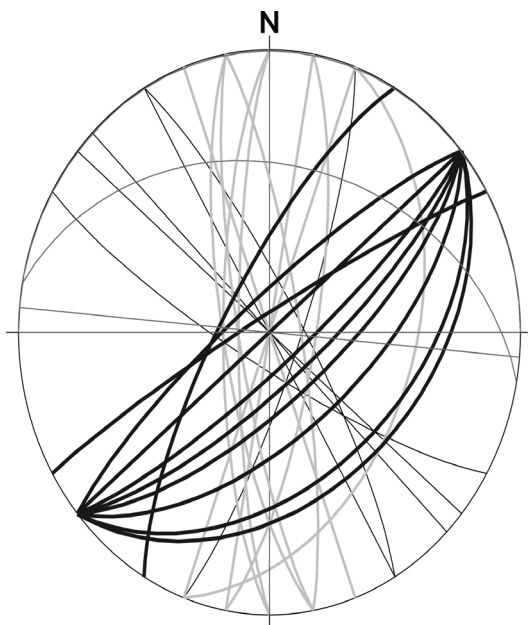


Figura 5 - Diagrama da Rede de Schmidt, onde os planos preto e cinza claro constituem o par conjugado de cisalhamento.

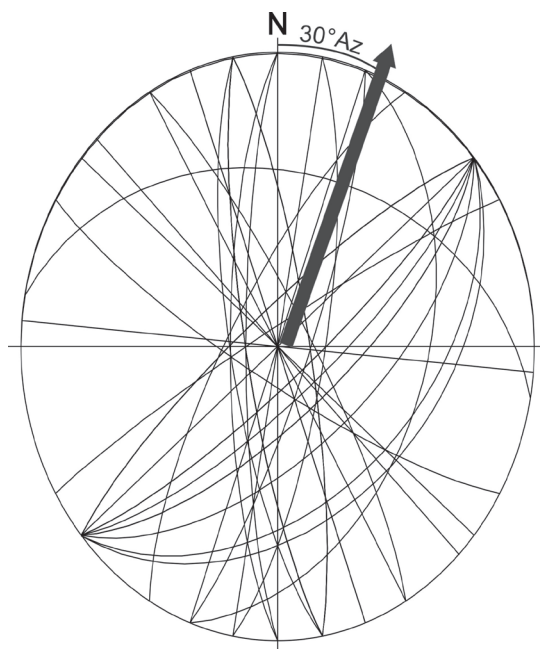


Figura 6 - Diagrama da rede de Schmidt com os planos de fratura de cisalhamento, cuja bissetriz do ângulo formado entre eles representa a direção de compressão máxima no sentido 30Az. A figura foi obtida da medição de cerca de 45 fraturas na área da pedreira.

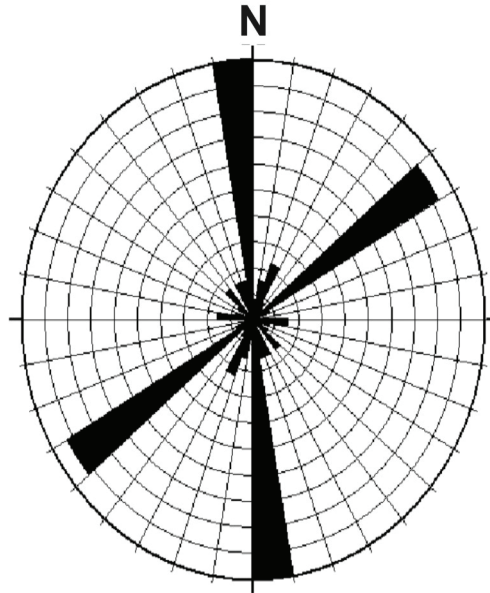


Figura 7 - Diagrama de rosetas onde se visualiza um par conjugado nas direções 50Az e 350Az.

A correlação destas estruturas, com a análise dos sigmóides, observados em bancada aberta na rocha (Fig. 8), confirma que as deformações plicativas citadas no item

anterior, apresentam mergulho da foliação para NE e sentido de transporte tectônico para SW, ao longo de uma direção compressiva SW-NE.



Figura 8 - Pela disposição dos sigmóides (indicados pelas setas) observa-se o sentido de transporte tectônico para SW. Colocar na foto uma seta de orientação para mostrar que as setas apontam para SW.

Convém salientar que as fraturas sub-horizontais somente, foram detectadas em corte de bancada, não sendo visualizadas nos afloramentos em planta. Em certos casos encontram-se preenchidas por minerais de argila e não foram originadas durante a atuação do esforço compressivo tangencial de amplitude regional, que afetou intensamente a região, mas sim durante a ascensão do material.

A reorientação deste strain (π_1), também explica o porque da disposição de fraturas associadas à distensão, orientadas nos intervalos de 15 a 20Az e entre 270 a 300Az respectivamente.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Sabe-se que a disposição do fraturamento observado em um determinado padrão de orientação, natureza e equidistância são resultantes dos esforços atuantes sobre o maciço. A análise da figura 9 permite visualizar, que a partir da definição do elipsóide de tensão, podem ser definidas as direções de tensões máxima e mínima atuantes sobre o corpo rochoso e consequentemente no elipsóide de deformação, têm-se posicionado as estruturas deformacionais geradas pelo campo de tensões atuantes.

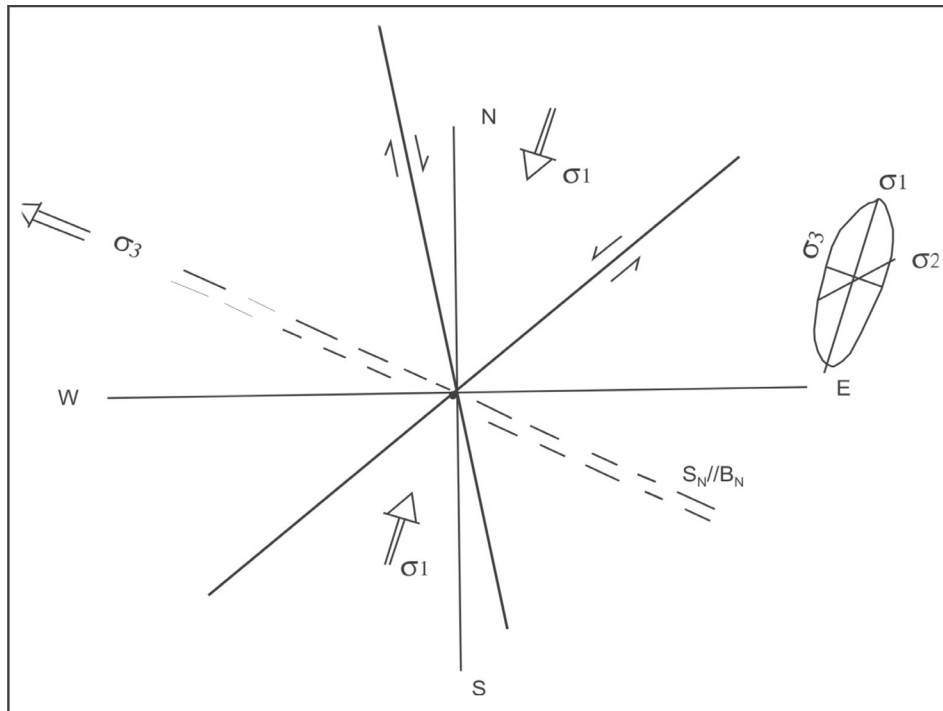


Figura 9 - Mostra o par conjugado formado pelas fraturas de cisalhamento o eixo de compressão máxima e o elipsóide de tensão.

A análise estrutural do afloramento e a interpretação dos diagramas acima expostos mostram, de acordo com o elipsóide de tensão, que a melhor direção para a abertura da pedreira deverá ser a de 300Az, disposta perpendicular ao eixo de compressão máxima (τ_1), e paralela ao de tensão mínima τ_3 . O corte da pedreira, a ser dado nesta, direção deverá propiciar o alívio do maciço e em seguida deve-se processar a extração dos blocos com eixo maior paralelo a direção de estruturação da rocha.

Tal interpretação é de suma importância para a condução das futuras operações de exploração, inclusive para a obtenção do nível de qualidade desejado, para o bloco extraído, cujo padrão depende do controle das superfícies de fraqueza da rocha. Em síntese, o conhecimento prévio destas discontinuidades possibilita estabelecer-se um correto planejamento das futuras operações de extração, as quais deverão ser adaptáveis a cada situação.

Salienta-se que o tratamento das informações contidas no mapa geológico da pedreira, em modelo 3D, permitiu visualizar o comportamento tridimensional dos sistemas de fraturas ora analisados.

Tal modelamento, quando associado à interpretação dos diagramas das figuras 5 e 6 e do elipsóide de tensão vêm reforçar a assertiva na qual a direção de 300Az constitui a melhor direção para o corte de abertura da pedreira. Tal consideração é confirmada pela abertura de bancadas segundo esta concepção, durante as operações de lavra experimental desenvolvida no local e que propiciou a retirada de blocos dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

CONCLUSÕES

O estudo em apreço mostra que nas operações de lavra em maciço rochoso, o conhecimento da distribuição das fraturas e da orientação do campo de tensões

atuantes sobre o mesmo é de fundamental importância, para o planejamento das futuras operações de exploração. Sabe-se que a correta visualização tridimensional dos planos de fratura, permite a definição não apenas do correto sentido de abertura da pedreira, mas também o tamanho e orientação dos blocos a serem extraídos.

No estudo em questão a análise estrutural permitiu definir o campo das paleotensões principais atuantes na fase de deformação rúptil do maciço que correspondem ao par conjugado nas direções 50Az e 350Az. Também a partir desse levantamento é possível definir a disposição de fraturas associadas à distensão, orientadas nos intervalos de 15Az a 20Az e entre 270 a 300Az respectivamente.

Dessa forma pode-se concluir que a direção de corte das bancadas, que proporcionam um melhor alívio de tensões residuais e, conseqüentemente, maior aproveitamento do maciço é de 300Az.

Convém frisar, que o levantamento estrutural de detalhe, seguido do estudo do campo de tensões atuantes sobre o maciço, constitui ferramenta importante para o planejamento das operações de extração. Entretanto, esses estudos devem ser complementados pela modelagem tridimensional das estruturas, uso do extensômetro e do GPR (Ground Penetration Radar) para maior detalhamento das estruturas locais.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, A. J., Paiva, I. P. 1998. Sistemática metodológica baseada em fatores físicos das rochas e infra-estrutura, para uso em mapas de atratividade econômico-geológica de rochas para fins ornamentais. Recife; CPRM, (inédito).
- Loczy, L.; Ladeira, E. A. 1976. – *Projeção Estereográfica Aplicada a Geologia Estrutural* IN Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica. Editora Brúcher. São Paulo. -627 p.

- Holanda, C. J. de, Cunha, A. C. da, Silva, F. A. F., Sereno Filho, J. A. 1987. Catálogo dos Granitos do Estado de Pernambuco-Minérios de Pernambuco. Recife,. 109p.
- Medeiros, V. C. de, 1998. Folha Garanhuns- SB. 24_X_B-Integração Geológica - Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil-CPRM-Recife,.
- Santos, E. J. ANO. do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Floresta-SC. 24_X-A: Província Borborema, Nordeste do Brasil. Integração Geológica e Metalogenética Escala. 1:250. 000
- Paiva, I. P. 2000. Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Belém do São Francisco Escala: 1: 250.000-CPRM-Recife, (inédito).
- Mendes, V. A., Paiva, I. P, 2003. Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Garanhuns Escala 1:250. 000-CPRM-Recife, (inédito).