

Comportamentos Rúptil e Dúctil de Materiais Geológicos

Anderson Moraes

Os conceitos de comportamento rúptil e de comportamento dúctil são amplamente utilizados pelos geólogos estruturalistas. Interessante é que mesmo tratando internamente cada um em suas respectivas mentes com definições frequentemente distintas, geólogos estruturalistas com formações e níveis de experiência distanciados conseguem manter uma conversação razoável. Por outro lado, seguramente, cada um guarda conceitos diferentes e frequentemente errôneos sobre o que mecanicamente encampa, difere e caracteriza os comportamentos rúptil e dúctil.

Fundamental para se trabalhar com os conceitos de rochas rúpteis e dúcteis são a escala considerada e o fator tempo, isto é, a taxa de deformação. De modo mais amplo, os comportamentos rúptil e dúctil sofrem uma primeira separação em macroescala, assumindo-se que os materiais rúpteis deformam-se inelasticamente de forma localizada e os materiais dúcteis de forma distribuída. Contudo, evidentemente, rochas com comportamento dúctil encerram muitas vezes forte localização que, geralmente, encampam dimensões mais significativas. Dessa forma, a escala considerada torna-se importante pois sem dúvida a presença de descontinuidades bem caracterizadas ou não podem se dar em determinada escala e não em outra. Claramente, as taxas de deformação impostas condicionam a resposta mecânica das rochas, suas rigidez relativas e, principalmente, os mecanismos de deformação presentes, podendo mesmo determinar o nível de localização da deformação, isto é, se distribuída ou localizada, a depender da escala de observação. Em outras palavras, mesmo rochas completamente distintas ainda que em mesmas condições quanto às variáveis de estado podem encerrar o mesmo comportamento a depender das taxas de deformação envolvidas. Ainda, contrariamente, uma mesma rocha pode se comportar de forma rúptil ou dúctil a depender da taxa de deformação a ela imposta. Entretanto, no tempo geológico, de uma forma geral, as condições principalmente de tensões confinantes e temperatura no planeta controlam as taxas de deformação passíveis de operarem e, como corolário, os mecanismos de deformação presentes, possibilitando um zoneamento mecânico relativamente coerente do planeta em profundidade. Assim, o comportamento rúptil envolve cataclase, com microfraturamento e deslizamento friccional nos grãos minerais, sendo muito influenciado pelas tensões confinantes e menos pela temperatura. Por outro

lado, menos suscetível às tensões confinantes e muito mais à temperatura e ao tamanho dos grãos, o comportamento dúctil se dá por mecanismos múltiplos, predominando os fluxos intergranular e intragranular mas podendo ocorrer também cataclase.

Como se devem encaixar os conceitos de rúptil e dúctil no contexto dos comportamentos reológicos elementares? Erro comumente encontrado é relacionar-se o comportamento rúptil com o regime elástico. Claramente, uma reologia elástica não pode contemplar o comportamento rúptil satisfatoriamente em função de, por definição, essa reologia não poder incorporar fraturas e falhas e não se aplicar a grandes deformações. A priori, em geologia estrutural, associa-se geralmente o regime dúctil com o comportamentos reológico plástico e o fluxo rúptil com o falhamento geológico que discretiza planos de ruptura melhor caracterizados geometricamente, ou seja, as zonas de falhas. Entretanto, pensando-se em um modelo para se estudar o comportamento das rochas na crosta no tempo geológico é coerente estudar-se o comportamento rúptil como plástico friccional e o comportamento dúctil como viscoso. Melhor ainda, a rigor, os conceitos de rúptil e dúctil dependem das taxas de deformação impostas às rochas. Genericamente, uma reologia elastoplástica é plenamente satisfatória para modelos que visem contemplar a resposta rúptil frente a altas taxas de deformação. Quando da imposição de taxas de deformação baixas, as rochas dúcteis devem ser modeladas por modelos viscosos. Embora possa parecer estranho à primeira vista, o comportamento plástico, ou melhor ainda o elastoplástico, pode ser utilizado para se modelar indistintamente os regimes rúptil ou dúctil, mas isso depende da natureza do problema. Por exemplo, modelos numéricos para análise da distribuição de tensões em bacias sedimentares podem valer-se satisfatoriamente da reologia plástica para as camadas dúcteis. Igualmente, o regime rúptil pode ser perfeitamente modelado por um comportamento plástico quando se incorporam descontinuidades no modelo. Lembre-se, como foi enfatizado ao longo desse capítulo, mecanicamente falhamento e plasticidade se “confundem”. Assim, os critérios elastoplásticos devem ser considerados quando da ocorrência de descontinuidades prévias no modelo, significando que uma descontinuidade apresenta comportamento análogo àquele de um material plástico. Conceitualmente, a melhor maneira de representar o comportamento dúctil das rochas para um modelo mecânico da crosta no tempo geológico é através do fluxo viscoso. As rochas na natureza podem apresentar comportamento viscoso, dependendo de sua temperatura, profundidade e da taxa de deformação imposta. Contudo, e mais facilmente aceito, o regime dúctil pode ser estudado com modelos de fluxo plástico quando sua evolução no tempo geológico não é relevante. Por exemplo, quando interessa observar a distribuição de tensões relativas a um esforço imposto instantaneamente.

Entretanto, deve-se atentar que a incorporação do comportamento viscoso é fundamental para se modelar rochas dúcteis quando se analisa um período de tempo geologicamente significativo.

Em síntese, o comportamento rúptil advém, em uma primeira análise, da quebra das ligações atômicas que leva à geração de descontinuidades, frequentemente com forte localização da deformação. Assim, é um processo dependente muito mais das tensões confinantes que do acoplamento taxa de deformação e temperatura. Por sua vez, o comportamento dúctil advém preferencialmente da operação de defeitos em escala dos grãos minerais, com a deformação sendo geralmente mais distribuída mas podendo também ser localizada. Portanto, é um processo fortemente dependente do acoplamento taxa de deformação e temperatura e menos dependente das tensões confinantes. A facilidade de se classificar relativamente rochas com comportamentos rúptil e rochas com comportamento dúctil pressupõe que se esteja considerando a mesma escala de observação e que as taxas de deformação impostas sejam semelhantes, em termos geológicos, mesmo para rochas diversas e em ambientes tectônicos distintos.