

# **Projeto MA-09 - Comitê Temático de Meio Ambiente (CTMA/PROMINP)**

**Grupo 02 - Comportamento Hidrogeomecânico dos  
Maciços Envolvidos e Geração de Eventos Sísmicos**

**Coordenador: Paulo Varella (ANA)  
Coordenador Adjunto: Fernando Oliveira (ANA)**

***Workshop Técnico sobre recursos petrolíferos  
não convencionais***

***Brasília-DF***

***26 de novembro de 2014***

Levantamento e análise da bibliografia internacional, sobre a experiência gerada nos países que fazem uso de reservatórios não convencionais-RNC, nos seguintes temas:

- Avaliação geológica
- Avaliação hidrogeológica
- Monitoramento de águas subterrâneas
- Geração de eventos sísmicos

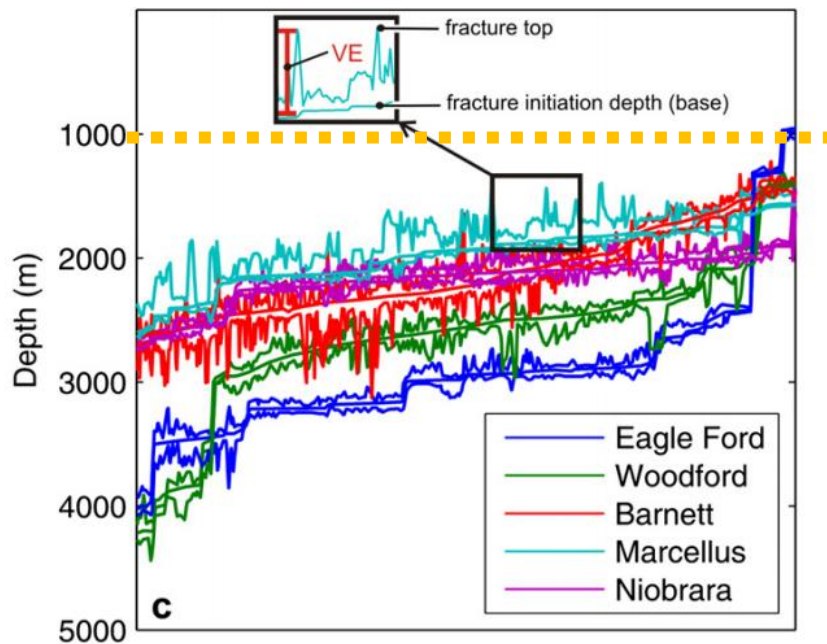
- A avaliação geológica detalhada constitui uma das atividades mais relevantes, na exploração e produção dos RNC, impacta em todo o processo.
- Arcabouço estrutural (regime deformacional, campos de stress).
- Presença de descontinuidades (litológica, rúptil e dúctil) e possibilidades de reativações conforme a pressão e direção de aplicação do fraturamento.
- Modelagem para o prognóstico do comportamento geomecânico das rochas.
- A **determinação** e a **delimitação** de **falhas e fraturas** nas áreas alvos para os RNC é uma atividade importante para o **estabelecimento** de **condições seguras** para a implementação do **fraturamento hidráulico** reduzindo as possibilidades de **eventos sísmicos**.
- **Sísmica** em **3D**, de **alta resolução**, tem sido utilizada em diversos países para o mapeamento de detalhe.



## Avaliação Hidrogeológica

- Considerar os diversos tipos de aquíferos, sua geometria e extensão, propriedades hidráulicas, qualidade, relações entre aquíferos e com corpos hídricos superficiais.
- Cadastramento de poços tubulares, avaliando suas características construtivas, especialmente **profundidades** e **revestimentos**, **aquífero explorado**, volumes extraídos, **dados de qualidade**, entre outros.
- É necessário determinar as **profundidades** dos poços tubulares e das **camadas alvos** do fraturamento hidráulico de forma a gerar informações para o **estabelecimento** de distâncias seguras entre essas unidades e os poços tubulares.
- **Avaliar** as **distâncias** entre os **aquíferos identificados** e as **camadas alvo** para os RNC. Os aquíferos rasos são mais propensos a problemas com o fraturamento hidráulico, é essencial assegurar que o fraturamento hidráulico **não atinja esses mananciais**.
- Elaboração de modelo conceitual ( e matemático), com vistas a determinação das **relações** entre os diversos **aquíferos**, entre **poços** e aquíferos, bem como para avaliar a possível **influência** das **fraturas** produzidas durante o fraturamento hidráulico, nos poços tubulares e nos aquíferos, e possibilidade de interconexão dessas com falhas e fraturas prévias.
- O melhor modelo é uma conceitualização imperfeita do movimento da água subterrânea e da geologia de subsuperfície.
- Aquíferos **mais profundos** tem menos informações disponíveis, de forma que resultam **modelos** com **dados** ainda mais **generalizados** que podem ou não representar adequadamente as condições em profundidades.
- Há menção na literatura de **gaseificação** de aquíferos devido ao desenvolvimento de *shale gas*, sendo sugerida como **potencial causa** a **elevada atividade sísmica** no local.

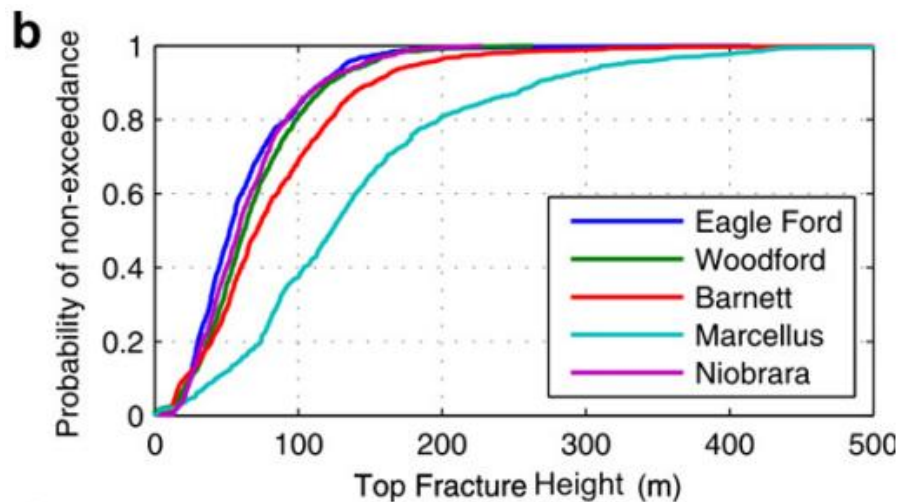
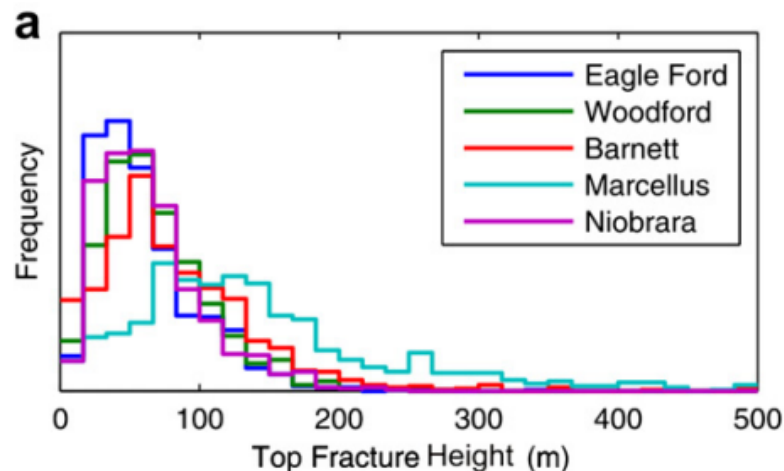
## Profundidade do fraturamento hidráulico



(Davis et al. 2012)

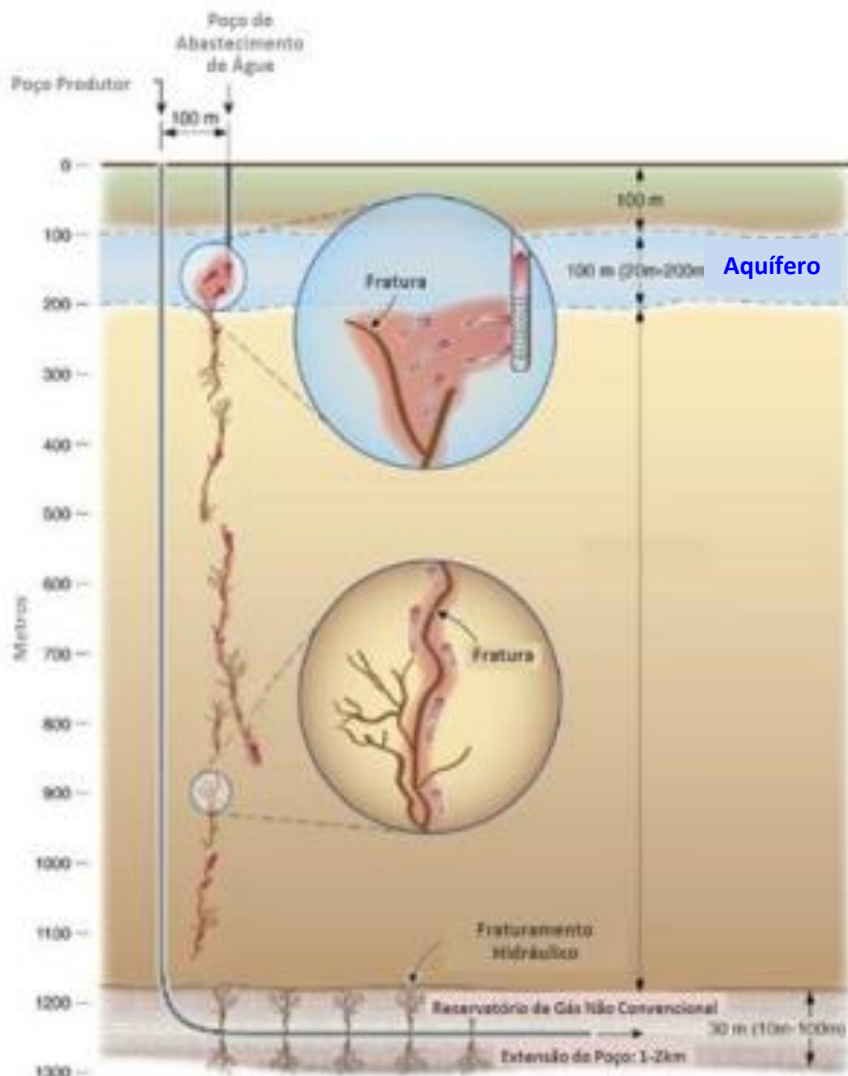
## Avaliação Hidrogeológica

### Alcance do fraturamento hidráulico



**Probabilidade de fraturas >350 m é ~ 1%**  
**Propagação max. Barnett shale ~588 m**

## Avaliação Hidrogeológica



Interconexão de fratura induzida com  
descontinuidades naturais pré-existente

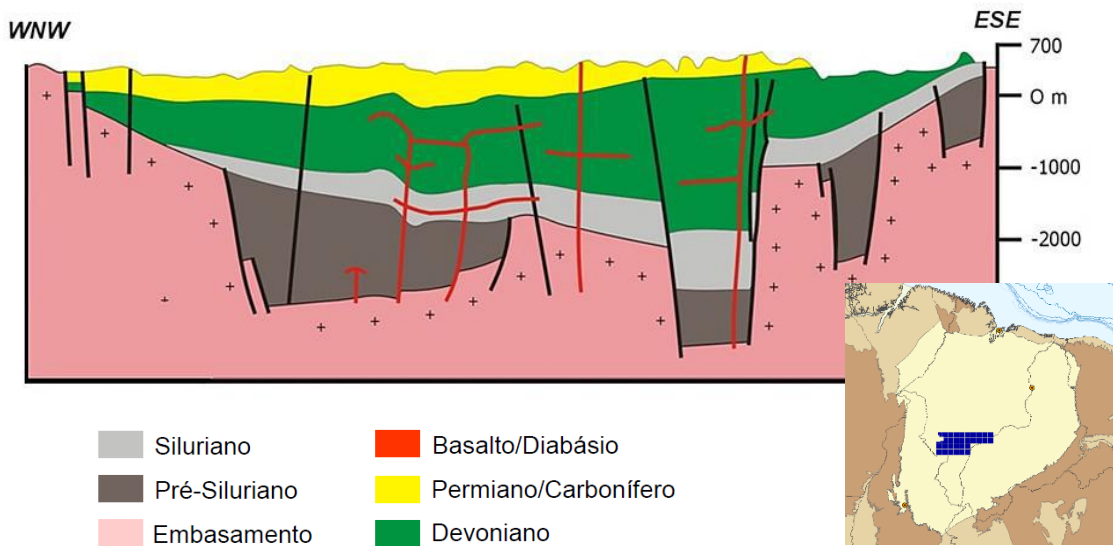
Os modelos consideram a existência de somente uma unidade aquífera, geralmente próxima à superfície;

Nas Bacias sedimentares o modelo comum é de aquíferos intercalados com camadas confinantes (p.e. folhelhos).

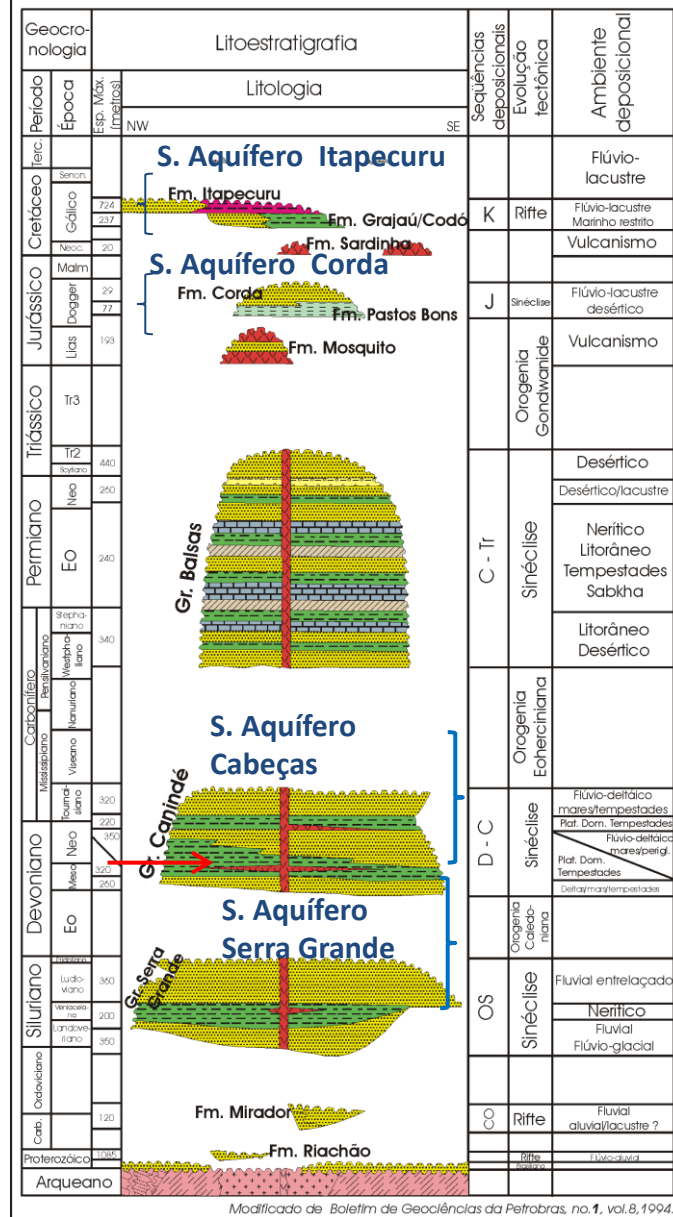
# Bacia do Parnaíba

Convenções Utilizadas nas Cartas Estratigráficas

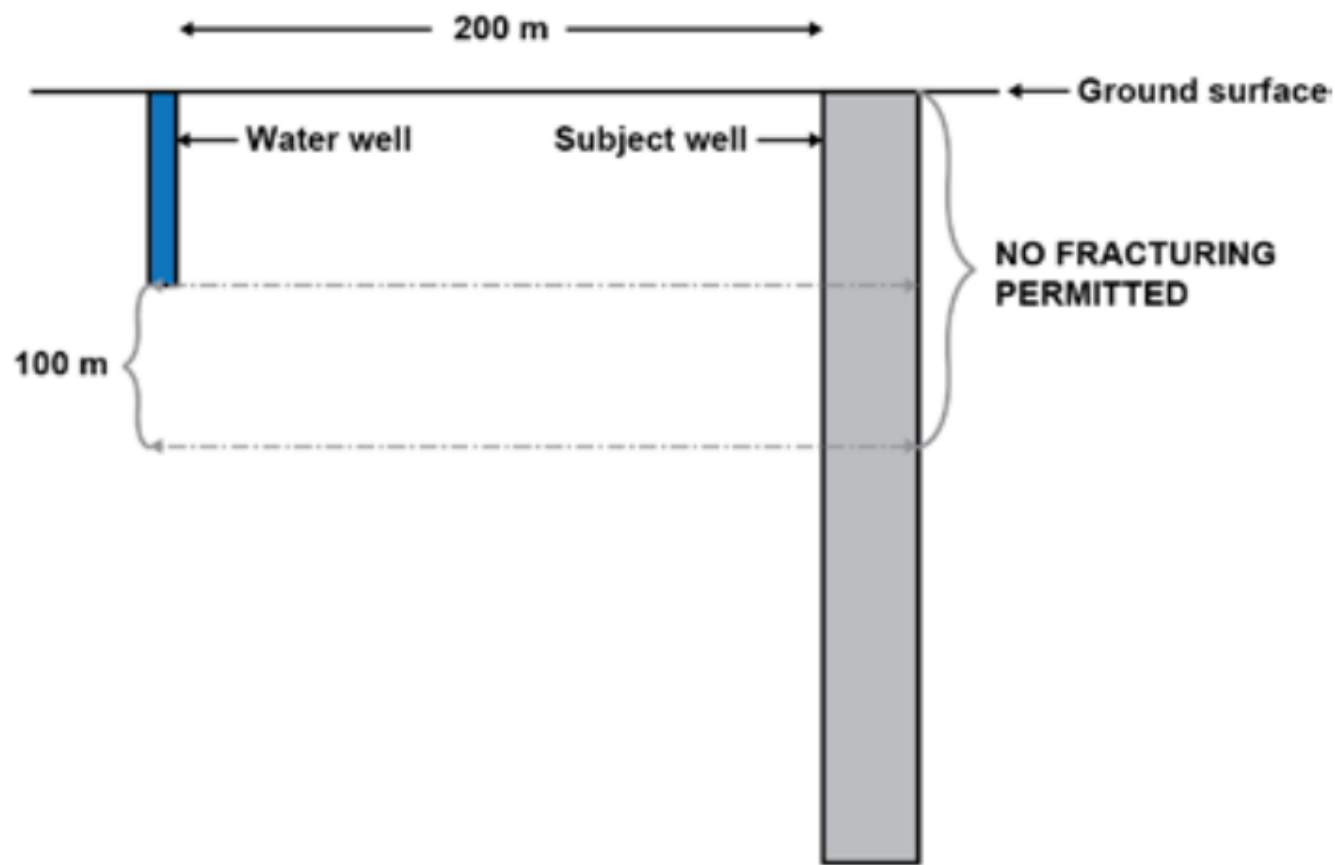

- Aquíferos Itapecuru, Poti-Piauí, Corda, Motuca, Cabeças, Serra Grande;
- Potenciais camadas geradoras: Folhelhos da Formação Pimenteiras (D).



Carta Estratigráfica da Bacia do Parnaíba







Limitações para fraturamento hidráulico, próximo a poços tubulares, em Alberta- CA  
ERCB Directive 083 (2013)

## Monitoramento de águas subterrâneas

- As condições de ocorrência das águas subterrâneas **dificulta** grandemente as ações de **descontaminação**, a **melhor estratégia** é a sua **proteção**.
- Definição dos valores de **backgrounds previamente** aos trabalhos **exploratórios**, inclusive da realização de **testes sísmicos** para a avaliação geológica.
- Não há regra específica para o monitoramento (substâncias, frequência de amostragem, densidade de pontos, tipos de poços, etc). O **estabelecimento** dessas variáveis deverá **refletir** as **condições** das **áreas alvo** dos RNC. É Sugerido que o monitoramento compreenda também a zona insaturada, próxima ao nível estático.
- O estabelecimento de **Plano** de **Monitoramento** carece da definição prévia de adequados arcabouços **geológico, hidrogeológico e hidrogeoquímico**, para subsidiar o estabelecimento da rede.
- Há menções na literatura para a realização de monitoramento **mensal** durante os processos de **perfuração e fraturamento hidráulico**, porém, deverá ocorrer uma **periodicidade adicional** durante a **produção** do gás. Após o fechamento do poço a **periodicidade** poderá ser **reduzida**.
- Nas situações onde o **manancial subterrâneo** é **explorado** para **uso** no **fraturamento** hidráulico e **quando** os corpos de água superficiais forem **alimentados** por **fluxo de base**, condição essa presente no sistema aquífero livre/rio perene, **atenção especial** deve ser dada ao monitoramento **quantitativo**.

- Abalos sísmicos podem constituir impacto negativo importante nas atividades dos RNC, sendo associados ao fraturamento hidráulico.
- Em **geral** são de **baixa magnitude**, comumente menores que **0,8** na escala Richter.
- Há relatos nos Estados Unidos de abalos com intensidade de 1,9 ML e 2,8 MD e na Inglaterra de 2,3 ML, **todos relacionados ao fraturamento hidráulico**.
- Nos Estados Unidos há informações de eventos com magnitude de até **5** na escala Richter, associados a **reinjeção de grandes volumes de água residuária** (baixa taxa, mas grandes volumes).
- Ainda nesse país, relatos indicam que o **número de terremotos** sentidos ou registrados é **pequeno** com respeito ao número de **operações de fraturamento** hidráulico, sendo documentados 2 ou 3 casos adicionais nos últimos 3-4 anos, com a maioria a uma **distância de 1-2 km de falhas mapeadas**.
- Altas **pressões locais** podem **estimular falhas distantes** entre **1-2 km** dos poços.

## Medidas para mitigar a geração de abalos sísmicos

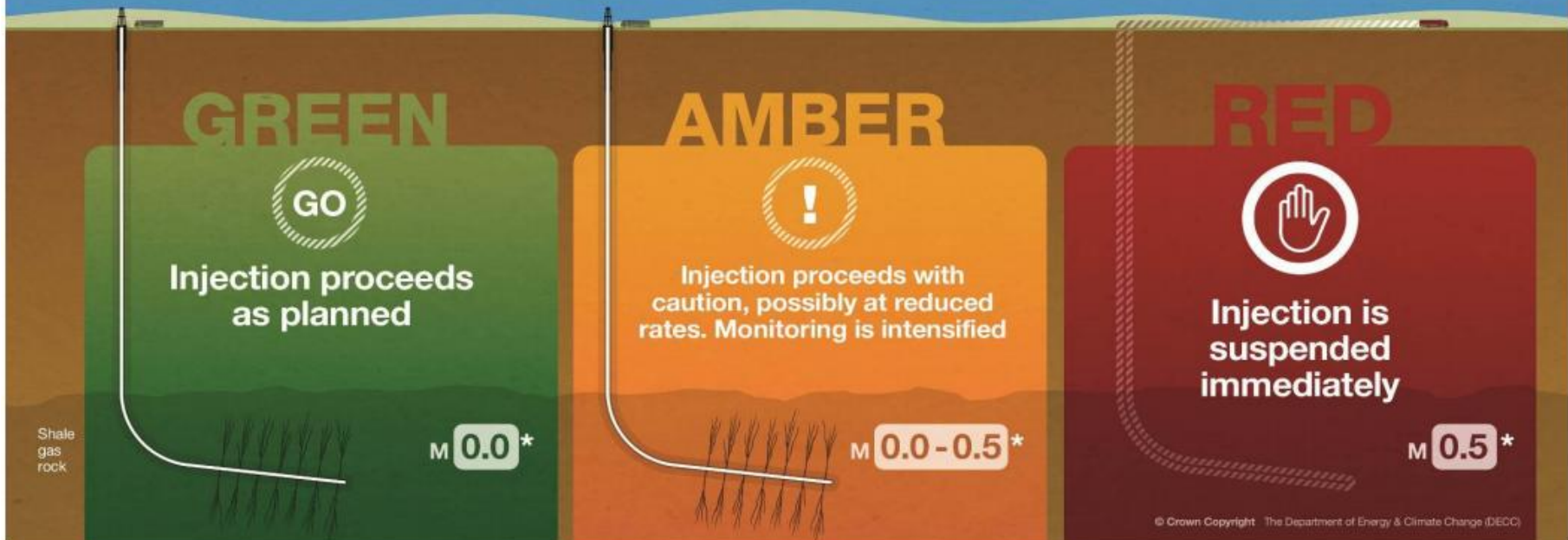
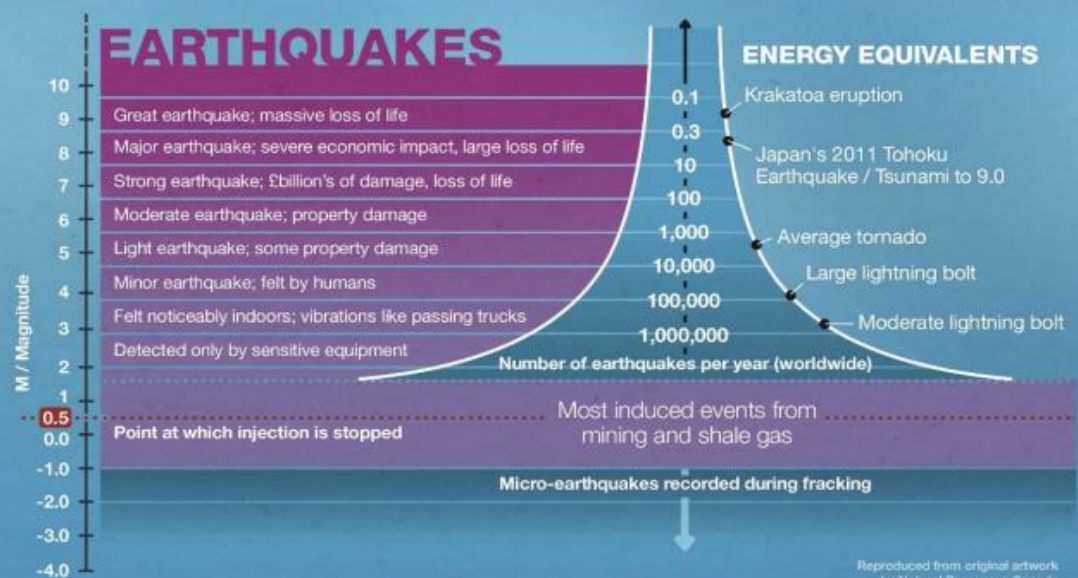
- Uso de toda a informação geológica disponível para **acessar a localização de falhas** antes da perfuração dos poços de maneira a **evitar o fraturamento hidráulico próximo** a essas estruturas.
- Uso de dados de **baseline** para **atividade sísmica** do País.
- **Redução do volume de água utilizada** no fraturamento hidráulico.
- Realizar **rapidamente o flowback** após o fraturamento.
- **Monitorar** a atividade sísmica **durante e após** o fraturamento.
- Adotar **sistema de semáforo** que **controla** quando a **injeção** pode ou não prosseguir, **baseado no monitoramento** da atividade sísmica.
- Uso de **modelagem geomecânica** para **determinar o volume** de água **injetada** em função do **nível máximo de abalo sísmico** a ser **tolerado**.
- **Mapeamento microssísmico** em tempo real para monitorar eventos sísmicos e **avaliar a cinética de crescimento fraturas**.
- **Evitar injeção** de águas residuárias **próximo a falhas** conhecidas.
- Estabelecer **protocolos de modificação** com antecedência conforme a implementação do fraturamento hidráulico baseado na resposta sísmica.
- Estar preparado para alterar ou abandonar o poço.

# Traffic light monitoring system

Controls are in place so that operators will have to assess the location of faults before fracking, monitor seismic activity in real time and stop if even minor earth tremors occur.

If a magnitude greater than M **0.5\*** (0.5 on the Richter scale) is detected operations will stop and the pressure of the fluid will be reduced. This level should limit further earthquakes, known as 'induced seismicity', which may happen after the pumping is completed.

*\*subject to review and may change.*



- A **avaliação geológica detalhada** é chave para **reduzir** os **riscos** das atividades exploratórias e de produção para os **RNC**.
- Atenção especial deve-se dar ao entendimento do **arcabouço estrutural local**.
- Maior investimento nesta etapa reduz incertezas nas demais, minimizando os riscos, em especial com o **fraturamento hidráulico**, e conseqüentemente na possibilidade de **geração de sismos**, bem como na **contaminação** de **águas subterrâneas**.
- Análise de dados de **background** (**sismicidade, qualidade de águas subterrâneas e superficial**).
- **Monitoramento** de recursos hídricos **antes, durante e após** o fechamento dos poços.
- **Conhecimento prévio das substâncias utilizadas** no fraturamento hidráulico para planejar o monitoramento.
- A **determinação e delimitação** de **falhas e fraturas** com precisão, atividade a ser desenvolvida durante a avaliação geológica, sísmica em 3D é uma metodologia indicada, todavia pode não ser suficiente para delinear falhas menores.
- O estabelecimento de distâncias horizontais e verticais entre **poços exploratórios** e **poços tubulares**; **entre horizontes de exploração** com fraturamento hidráulico e **aquíferos**, **deverá considerar a situação de cada área**, após as avaliações geológica e hidrogeológica detalhadas.
- As informações atuais disponíveis dão conta que a extensão do fraturamento hidráulico pode ir até a distâncias de 600 m, **mas é variável** em função de uma vasta gama de fatores, tais como **reologia** dos materiais, **estado de stress**, **direção de aplicação das tensões**, existência de **descontinuidades prévias**; de forma que a definição de um único valor pode não ser adequado.
- **Atenção especial com o descarte de água residuária**, com impacto na qualidade e no potencial para geração de sismos.

## Membros do Grupo 02

- Paulo Varella** – ANA- **Coordenador** – [paulovarella@ana.gov.br](mailto:paulovarella@ana.gov.br)
- Fernando R Oliveira** – ANA- **Coordenador adjunto** – [fernando@ana.gov.br](mailto:fernando@ana.gov.br)
- Leonardo Almeida** – ANA- [leonardo.almeida@ana.gov.br](mailto:leonardo.almeida@ana.gov.br)
- Adriana Niemeyer Pires Ferreira** -ANA - [adriana.ferreira@ana.gov.br](mailto:adriana.ferreira@ana.gov.br)
- Hugo Affonso – ANP – [haffonso@anp.gov.br](mailto:haffonso@anp.gov.br)
- Luciano da Silva Pinto Teixeira** - ANP- [lsteixeira@anp.gov.br](mailto:lsteixeira@anp.gov.br)
- Luciene Pedrosa – ANP – [lpedrosa@anp.gov.br](mailto:lpedrosa@anp.gov.br)
- Silvio Jablonski – ANP – [sjablonski@anp.gov.br](mailto:sjablonski@anp.gov.br)
- José Eduardo Matheus Évora – MMA/IBAMA – [jose.evora@ibama.gov.br](mailto:jose.evora@ibama.gov.br)
- Júlio Azevedo – MMA/IBAMA - [julio.azevedo@ibama.gov.br](mailto:julio.azevedo@ibama.gov.br)
- Diogo Baleeiro** –MME – [diogo.baleeiro@mme.gov.br](mailto:diogo.baleeiro@mme.gov.br)
- Roseli Souza – MMA/SRHU – [roseli.souza@mme.gov.br](mailto:roseli.souza@mme.gov.br)
- Israel Lacerda de Araújo – MME – [israel.araujo@mme.gov.br](mailto:israel.araujo@mme.gov.br)
- Ricardo Luiz de Campos Vaqueiro – PETROBRAS – [vaqueiro@petrobras.com.br](mailto:vaqueiro@petrobras.com.br)
- Jackeline Goncalves de Oliveira– MME -[jackeline.oliveira@mme.gov.br](mailto:jackeline.oliveira@mme.gov.br)]

# Obrigado!

**Fernando Roberto de Oliveira**

**fernando@ana.gov.br | (+55) (61) 2109 –5352**

**www.ana.gov.br**



[www.twitter.com/anagovbr](http://www.twitter.com/anagovbr)

The Facebook logo, consisting of the word "facebook" in white lowercase letters on a dark blue rectangular background.

[www.facebook.com/anagovbr](http://www.facebook.com/anagovbr)

The YouTube logo, featuring the word "You" in black and "Tube" in white on a red rounded rectangle.

[www.youtube.com/anagovbr](http://www.youtube.com/anagovbr)