

A Física da RMN na Exploração de Reservatórios

Do Spin Molecular ao
Mapeamento Orbital
Passivo



A Jornada de Escala: Da Física Fundamental ao Telessensoriamento

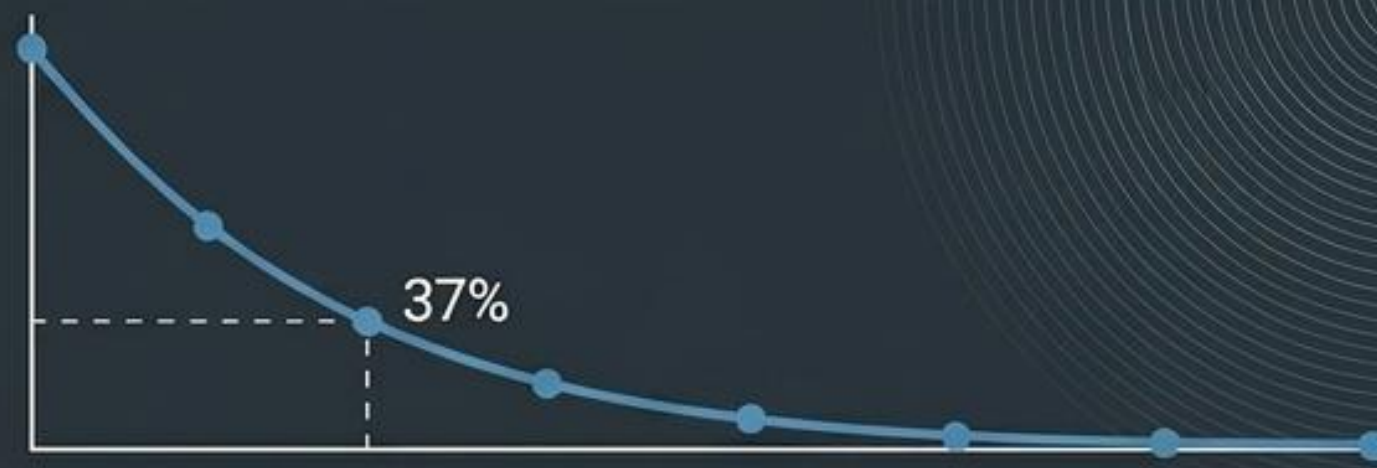


O Relógio Interno do Hidrogênio dita o Contraste dos Fluidos



Relaxação T1 (Longitudinal)

- **Mecanismo:** Transferência de energia para o ambiente ("rede"). Retorno da magnetização ao eixo principal do campo.
- **Métrica:** Tempo para recuperar 63% do equilíbrio inicial.
- **Aplicação:** Gera contraste anatômico. Água = T1 Longo; Gordura = T1 Curto.



Relaxação T2 (Transversal)

- **Mecanismo:** Perda de coerência (interação Spin-Spin). O T2 é sempre muito mais curto que o T1.
- **Métrica:** Tempo até a magnetização cair para 37% do máximo.
- **Aplicação:** Fluidos (água livre, hidrocarbonetos) aparecem intensamente brilhantes.

A Realidade do Campo Acelera a Perda de Coerência: T2 vs. T2*

$$[1 / T2^*]$$

=

$$[1 / T2]$$

$$[1 / T2 \text{ inhomogêneo}]$$

O Problema

A magnetização transversal decai muito mais rápido do que o efeito Spin-Spin (T2) puro prevê, resultando no **tempo de relaxação efetivo (T2*)**.

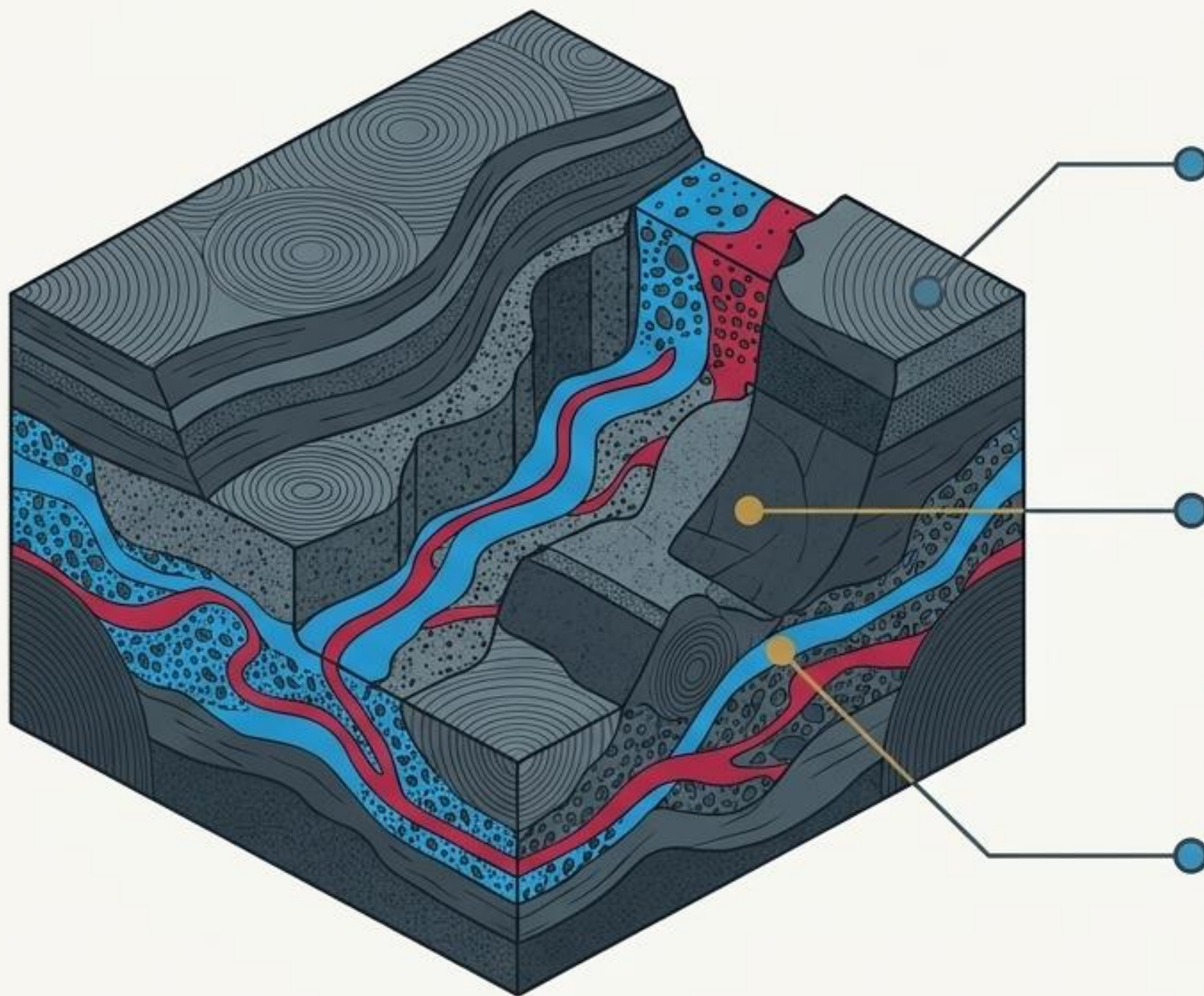
A Causa

Inomogeneidades no campo magnético principal (B0), geradas por diferenças de susceptibilidade nas interfaces rocha/fluido.

A Solução Tecnológica

Este déphasage é fixo e estático. Uma sequência de pulsos de "Eco de Spin" (Spin Echo) é aplicada para recentrar os prótons e anular a inomogeneidade reversível.

A Anatomia Caótica de um Reservatório Inomogêneo



Variabilidade Espacial

Propriedades petrofísicas (porosidade, permeabilidade, saturação) mudam drasticamente, da escala do poro individual à macroescala das camadas sedimentares.

Impacto na Produção

Estas variações criam caminhos preferenciais para os fluidos, complicando o fluxo e reduzindo a eficiência da extração convencional.

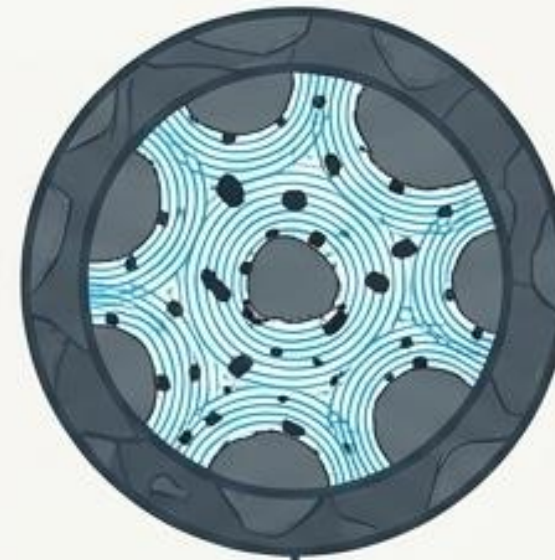
A Necessidade de Modelação

Exige métodos de parametrização multi-escalas e modelagem estocástica para simular e mapear com precisão o comportamento real do gisamento.

A Dinâmica de Corte: Separando Água Ligada de Água Livre

$$\left[\frac{1}{T_2} \approx \rho_2 \cdot \frac{S}{V} \right]$$

A velocidade de relaxação depende da relaxividade de superfície (ρ_2) multiplicada pela relação superfície/volume.



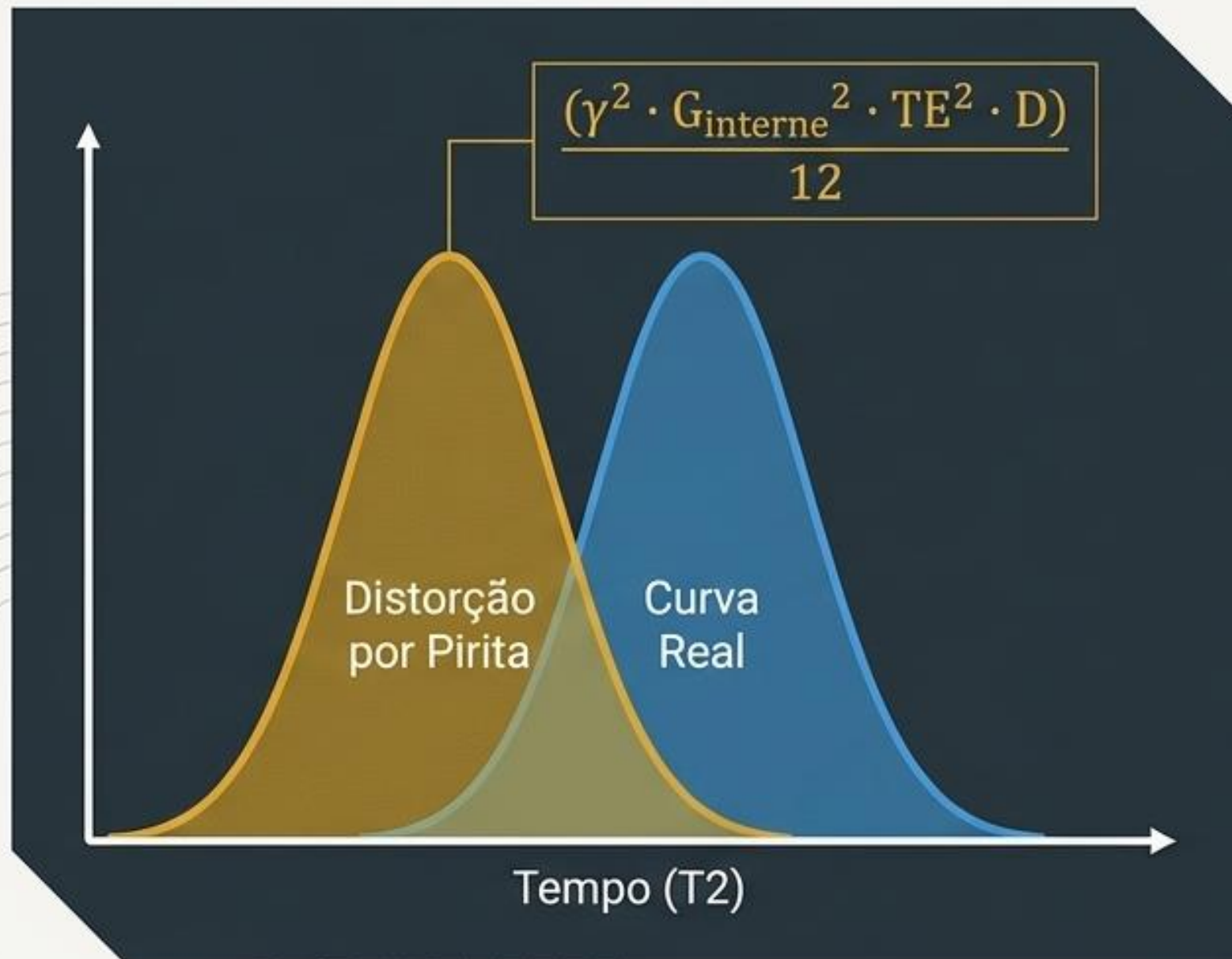
Arenitos (Grés) - 33ms

Alta relaxividade de superfície (ρ_2) devido à presença de argilas e metais paramagnéticos. Relaxação rápida.

Carbonatos - 92ms

Matriz quase pura (calcita/dolomita). A relaxividade (ρ_2) é 2 a 3 vezes menor, deslocando mecanicamente a linha de corte para tempos muito mais longos antes que o fluido seja considerado livre.

A Anomalia Mineralógica: Como a Pirita Distorce o Espectro



O Mecanismo

A Pirita (FeS₂) é metálica e altamente paramagnética. Causa enormes micro-gradientes magnéticos (G_{interne}) que aceleram drasticamente a despolarização molecular.

A Ilusão (Deslocamento à Esquerda)

O espectro T₂ migra para tempos curtos, classificando erroneamente grandes poros móveis como microporosidade inútil.

Consequência de Negócio

O volume de Água Irredutível (BVI) é superestimado, ocultando zonas viáveis de hidrocarbonetos e potencialmente mascarando totalmente o sinal RMN.

Quantificando a Permeabilidade Intrínseca via RMN

Distribuição T2

```
graph TD; A[Distribuição T2] --> B[Modelo de Coates (Free Fluid Model)]; A --> C[Modelo SDR (Schlumberger Doll Research)];
```

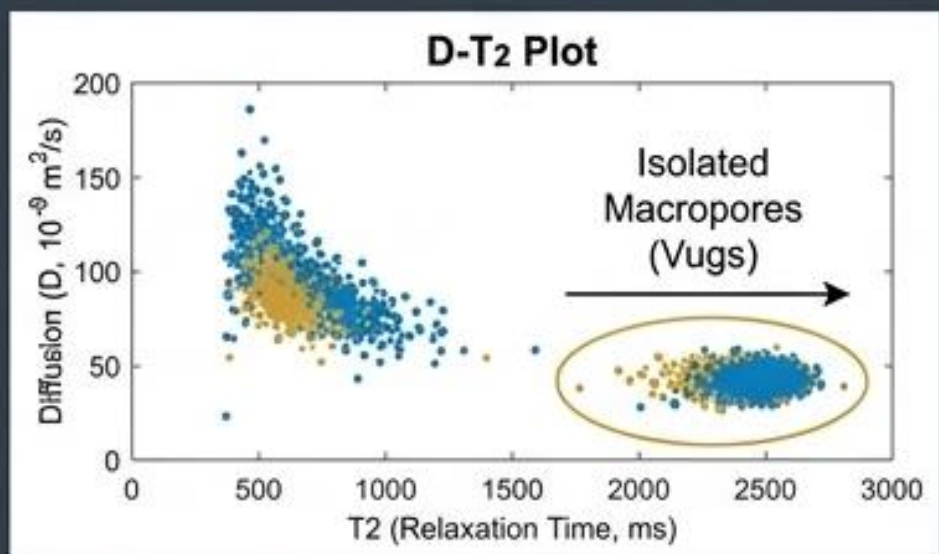
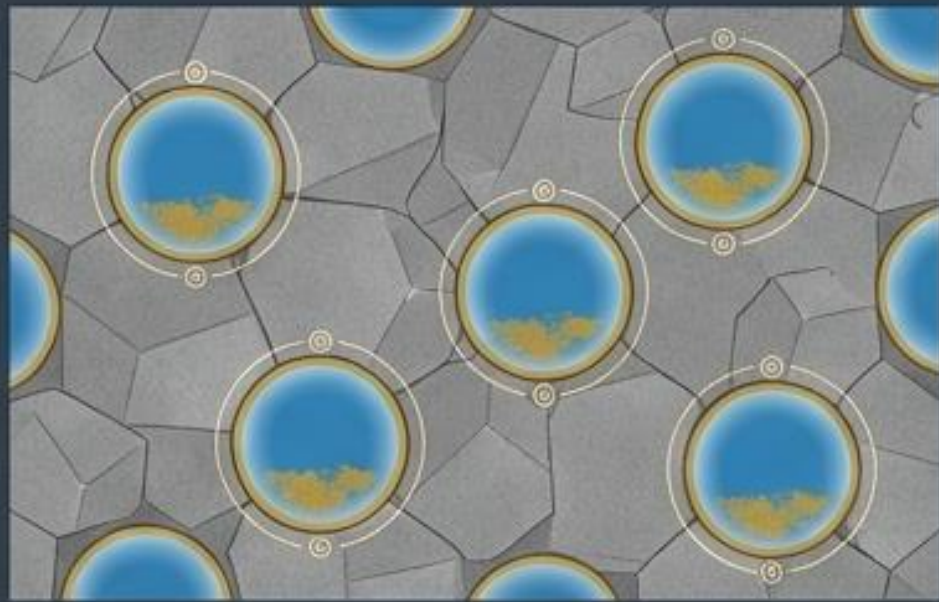
Modelo de Coates (Free Fluid Model)

- Fórmula baseada na proporção: Baseia-se ativamente na razão entre fluidos livres e ligados (FFI / BVI).
- Uso ideal: Extremamente preciso em arenitos (grés) e sistemas de poros simples.

Modelo SDR (Schlumberger Doll Research)

- Fórmula baseada na média: Utiliza a média geométrica logarítmica de todo o espectro T2 (T2_log).
- Uso ideal: Capta a distribuição completa sem depender estritamente dos cut-offs fixos.

O Colapso dos Modelos Simples: A Exceção dos Carbonatos Isolados



A Falha SDR em "Vugs"

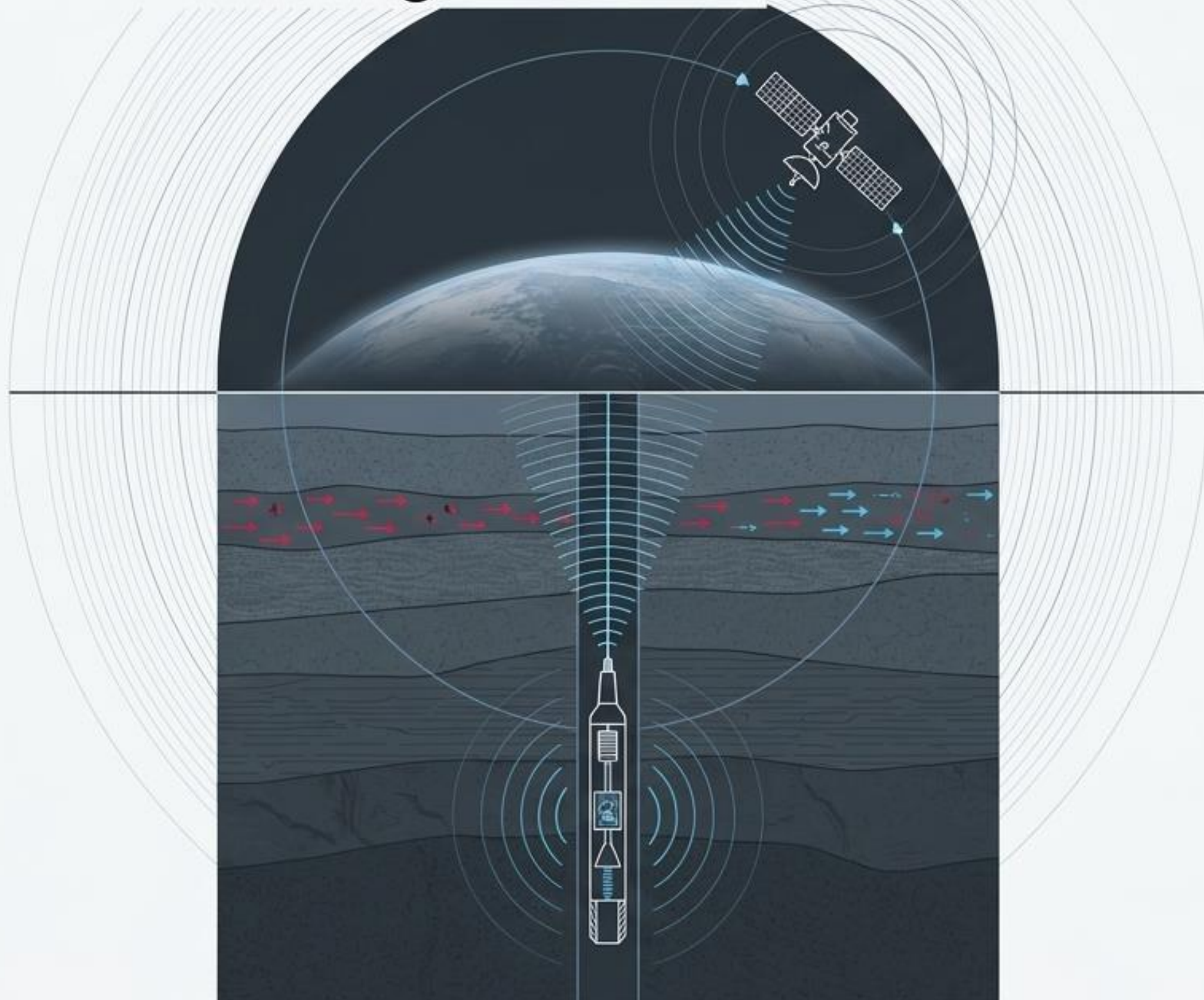
Em estruturas de carbonatos complexos com macroporos gigantes e isolados ("vugs"), os fluidos demoram imenso tempo para relaxar (T₂ altíssimo).

O modelo SDR interpreta este tempo longo como permeabilidade colossal—um erro crítico, pois os poros não estão conectados.

A Solução Moderna

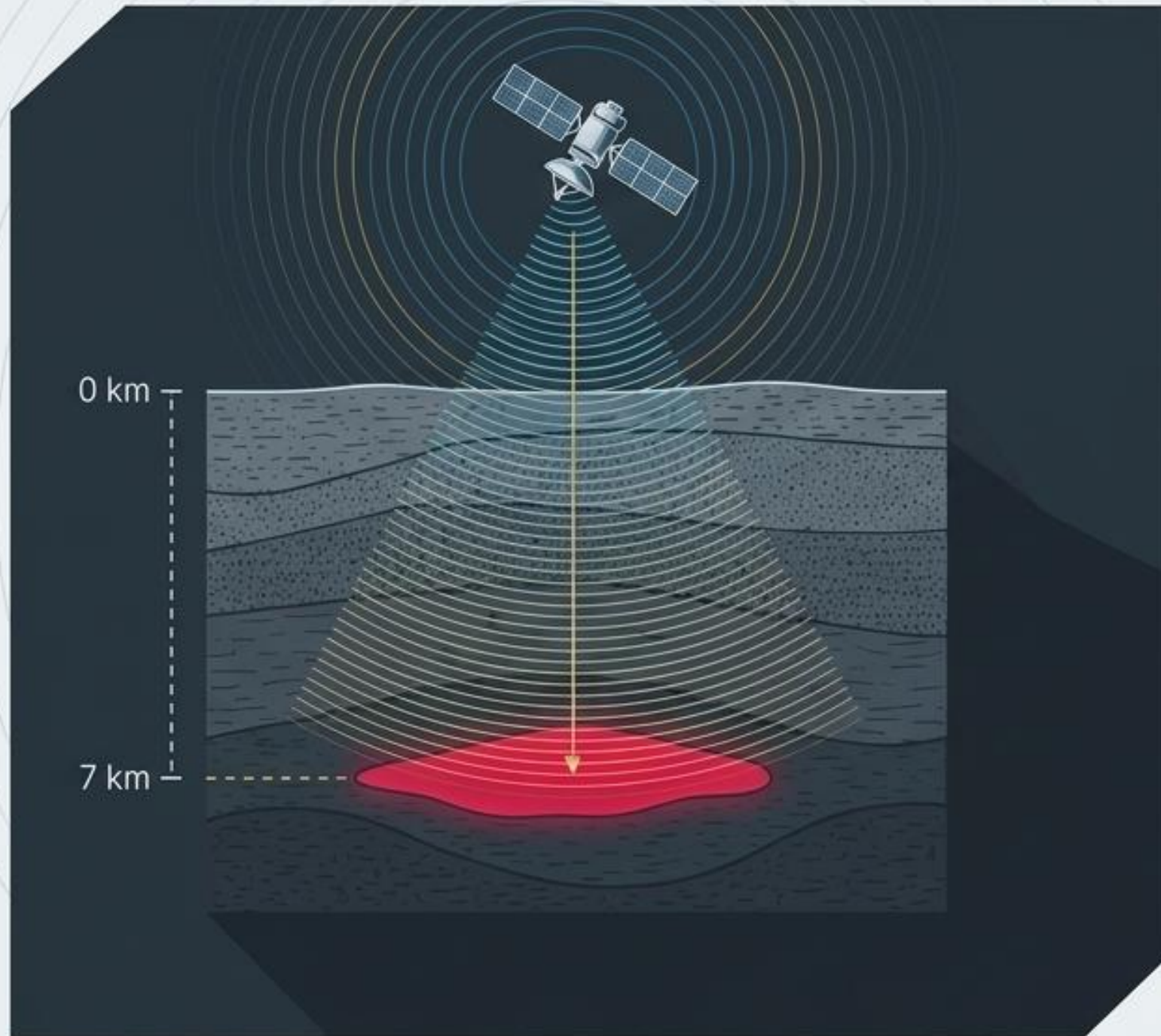
Os petrofísicos abandonam modelos estáticos e adotam Cut-offs variáveis em mapas RMN 2D (D-T₂ ou T₁-T₂) para separar a verdadeira conectividade hidrodinâmica dos poros isolados.

Da Ferramenta de Fundo de Poço à Telessondagem Global



“A mesma física quântica de relaxação do hidrogênio utilizada a milímetros no fundo de um poço pode agora ser sintonizada para identificar hidrocarbonetos a 7 km de profundidade — diretamente da órbita terrestre.”

O Paradigma RSS-NMR: Mapeamento Orbital Passivo



Sondagem Passiva em Profundidade:

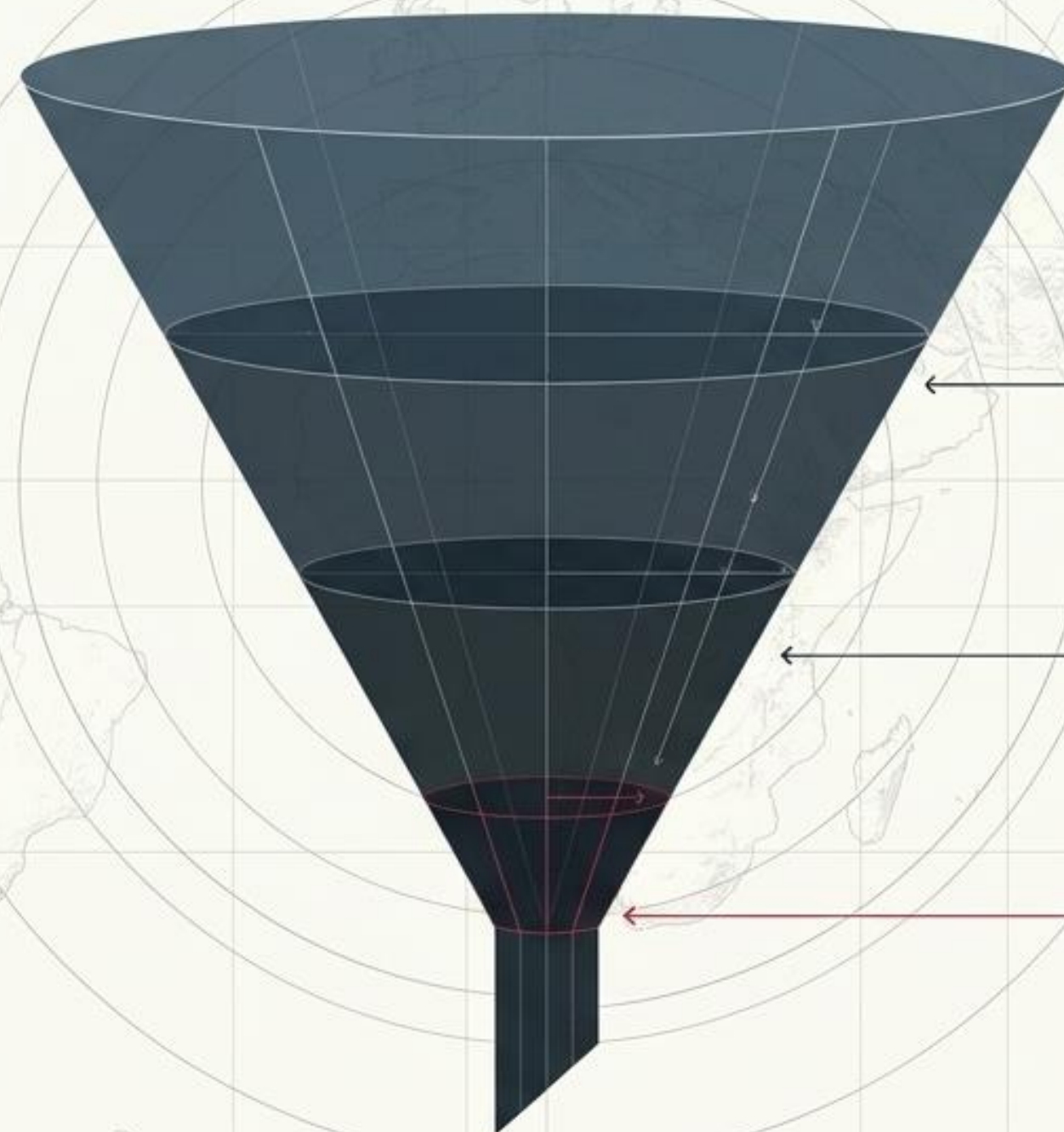
Mapeamento remoto capaz de penetrar até 7 km na crosta terrestre através do rastreamento de hidrogênio.

$$[\omega_0 = \gamma \cdot B_0]$$

Foco pela Frequência de Larmor: A tecnologia sintoniza-se nas profundidades exatas calibrando a Frequência de Larmor local da crosta.

Leitura Espectral Direta: Sem emissão ativa destrutiva. O satélite capta a assinatura do sinal de radiofrequência de retorno após a perturbação natural, servindo como um descritor físico direto dos fluidos subterrâneos.

A Lógica Operacional da “Etapa Zero”



1. Balayage Orbital

Cartografia passiva via satélite cobrindo enormes superfícies globais, com zero presença humana ou maquinário no solo.

2. Filtragem de Anomalias

O algoritmo elimina imediatamente zonas com sinais de T2 curto (matrizes densas e argilosas de nenhum interesse comercial).

3. Marcação de Fluidos

Isolamento algorítmico exclusivo de assinaturas T2 longas (indicadores irrefutáveis de fluidos móveis).

4. Foco Cirúrgico (Sweet Spots)

Delimitação exata dos alvos de perfuração, poupando meses de exploração exploratória às cegas.

Identificação Preditiva de Fluidos a Partir do Espaço



Assinatura do Petróleo

- **Perfil Espectral:** O ratio emparelha tempos longos equivalentes.
- **Marcador Diagnóstico:** Identificado remotamente por uma razão de relaxação $T1 / T2$ de aproximadamente 1 a 2.



Assinatura do Gás Natural

- **Perfil Espectral:** Divergência extrema causada por efeitos de difusão de estado gasoso.
- **Marcador Diagnóstico:** Identificado por um $T1$ significativamente longo contrastando com um $T2$ anormalmente curto.

O Valor Estratégico do Telessensoriamento RSS-NMR



Custo e Precisão

Elimina completamente a dependência de massivas campanhas de aquisição sísmica global "às cegas". Direciona recursos pesados apenas para áreas de sucesso confirmado.



Impacto Ambiental Zero

Sustentabilidade máxima através do modo não-invasivo. Operações discretas invisíveis invisíveis sem nenhum distúrbio físico aos ecossistemas terrestres ou marinhos da superfície.



Reavaliação Contínua

Permite o rastreo ultrarrápido de zonas negligenciadas em campos maduros, maximizando a extração de ativos sem qualquer interrupção das linhas de produção atuais.



O Futuro da Exploração Ressoa em Todas as Escalas

A convergência entre a mecânica quântica mais íntima da matéria e as redes de sensores orbitais globais está a reescrever o paradigma da exploração de energia. A eliminação da ambiguidade sísmica, garantindo precisão molecular absoluta com zero impacto em superfície.



Made
in Russia

Voluntary certification system «Made in Russia»
Registered in the Unified Register of registered voluntary certification systems
Reg. № РОСС RU.31685.047020 from the 24th of May 2017

Система добровольной сертификации «Сделано в России»
Зарегистрирована в Едином реестре зарегистрированных систем
добровольной сертификации
Reg. № РОСС RU.31685.047020 от 24 мая 2017 г.

CERTIFICATE OF CONFORMITY СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ CC.002647

Valid from 20.10.2025 to 05.10.2028

Срок действия с по

Applicant/Manufacturer: Poisk Group LLC, 299640, Russia, Sevastopol,
st. Khristofora, 143

Заявитель/Производитель: ООО «ГРУППА ПОИСК», 299640, Россия, г. Севастополь,
ул. Христофора, в. 143

Product: Methodology for calculating predicted ore reserves in deep-lying deposits, using
the parameters of ore bodies obtained using remote geosound methods of geological exploration
and field geophysical equipment of the Poisk complex (FEACH of the OJSC «GOSGEORIS»)

Продукция: Методика подсчета прогнозируемых запасов руд в глубинно залегающих залежах, с
использованием параметров рудных тел, полученных с помощью дистанционных
геоакустических методов геологического изучения и полевой геофизической аппаратуры комплекса
«Поиск» (ООО ТН ООД, ЕАЭС ГОСГЕОРИС)

Comply with the voluntary certification system "Made in Russia" requirements.
Соответствует требованиям Системы добровольной сертификации «Сделано в России».

Certificate is issued on the basis of: Declaration of conformity company Poisk Group LLC
on the Reliability of the voluntary certification system "Made in Russia" dated 07.10.2015 № 1/05,
Сертификат выдан на основании: Декларации о соответствии компании
ООО «ГРУППА ПОИСК» № 1/05 от 07.10.2015 на соответствие «Надежность» системы
добровольной сертификации «Сделано в России».

Made in Russia VES Holder Register Expert Center (SC)
125050, Moscow, Pribludnyy ulitsy 14/10/15
Клиентская служба: 8(495) 707-0000
e-mail: info@ves.ru | expert@ves.ru
tel: +7(495) 707-47-47

Департамент СЭС «Сделано в России» АО «Федеральный экспертный
центр СЭС» г. Москва, Приблудный переулок
Продукция: ООО «Группа Поиск», ул. Христофора, в. 143, тел. 8(495)
707-0000, e-mail: info@ves.ru | expert@ves.ru
tel: +7(495) 707-47-47

Vice President
Вице-президент



A.V. Solodov
А.В. Солодов

002645

СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ «ПРИНIP-ЭКСПЕРТ»
Reg. № РОСС RU.31678.040010 от 14.11.2016 г.



СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС RU.МЕТ.010066

Срок действия с 24.05.2021 по 24.05.2028

№ 0057630

ОБЪЕКТ СЕРТИФИКАЦИИ: ПОСУДЬЯ ПРОЦЕССИОННАЯ

Срок и окончание срока действия: 2021-2028, Россия, Московская область, городские округа
Самостоятельный округ, Окружной округ, Золотой Восточный округ, ул. А, владения 25, Кадастр 50:08/001/001/001,
код страны: 07-07-001-001

ПРОДУКЦИЯ: Методика оценки качества продукции в отношении качества и
использования параметров продукции (ПОИСК) для определения соответствия
требованиям ГОСТ Р 51074-2013 в отношении качества продукции «Средства
варки».

0057630
21.11.21

СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

0057630

ИЗГОТОВИТЕЛЬ: Общество с ограниченной ответственностью «Группа Поиск», ОГРН 1105000000000, ИНН
5050000000, ОГРН 5050000000000, ул. Христофора, в. 143, Севастополь, ул. Христофора, в. 143, телефон:
+7(495) 707-0000, сайт: www.poisk.ru

СЕРТИФИКАТ ВЫДАЮ: Общество с ограниченной ответственностью «Группа Поиск», ОГРН 1105000000000,
ИНН 5050000000, ОГРН 5050000000000, ул. Христофора, в. 143, Севастополь, ул. Христофора, в. 143, телефон:
+7(495) 707-0000, сайт: www.poisk.ru

НА ОБНОВЛЕНИЕ

Срок действия: с 24.05.2021 по 24.05.2028 года, включительно. Номер сертификата: 0057630
Департамент СЭС «Сделано в России» АО «Федеральный экспертный центр СЭС»

ДОСТАВЛЯЕТСЯ НА: ПОДПИСАНИЕ
(для информации:)



Руководитель центра
Заведующий

В.П. Филатов
А.В. Никитин

Сертификат действителен при условии соблюдения требований системы добровольной сертификации

Isenção de responsabilidade

As opiniões, análises e explicações expressas neste texto são exclusivamente do autor, Michel Louis Friedman. Elas não representam a visão de nenhuma instituição, empresa, empregador ou outra entidade. O autor se exime de toda responsabilidade pelo uso ou interpretação destas informações.

- Legislação de Direitos Autorais © 11 de março de 1957 Lei nº 57-298 relativa à propriedade de obras literárias e artísticas.
- Copyright © 2009-2026 Fands-LLC div. Proactive Economic Intelligence
- Todos os direitos reservados aos EUA e marcas registradas em conformidade com a legislação aplicável.
- Copyright © 2005-2026 Fands-LLC
- Todos os direitos autorais e marcas registradas estão em conformidade com a Lei dos EUA de 1976 (**Title 17 of the United States Code**).
- Patentes e Marcas Registradas (12 de dezembro de 1980) <https://www.copyright.gov/>

Direitos autorais © Michel Louis Friedman, 01/2026. É proibida a reprodução sem autorização.

Michel L. Friedman-Matarese

(Destom LH 67/11)

-  Mobile: +591-71696657
-  WhatsApp: +591-71696657
-  Email: michel@geo-nmr.net
-  In Charge: Africa & Américas
-  Speaker: FR-UK-ES-BR/PT
-  GMT: -04h
-  Base: Bolivia, Santa Cruz

Kotelianets Igor

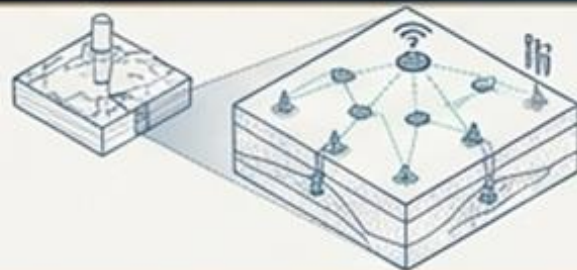
Director of LLC "Poisk Group"

-  Tel: +78692456491
-  WhatsApp: +79787155212
-  Email: igor@geo-nmr.net
-  In Charge: World
-  Speaker: RU-UK
-  GMT: +03h
-  Base: Sevastopol, Russia

Versatilidade Estratégica: Habilitando a Nova Energia

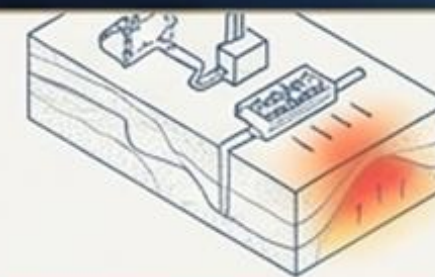
Hidrocarbonetos e CCUS

Otimização de perfuração infill e monitoramento contínuo (4D) e passivo da expansão espacial da pluma de CO₂ armazenado.



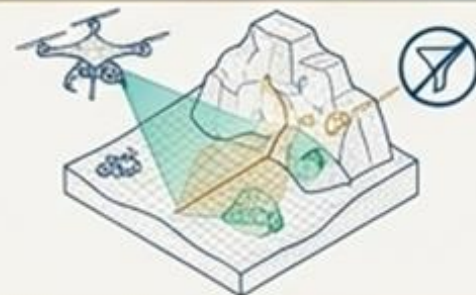
Energia Geotérmica

Mapeamento ultrapreciso e de forma silenciosa de anomalias térmicas profundas e redes de fraturas críticas entre 500m e 3.000m.



Minerais Críticos e Bases Preciosas

Localização cirúrgica de Ouro, Cobre e Lítio através da identificação direta do tipo de mineral e eliminação de falsos positivos estatísticos.



Hidrogênio Natural e Aquíferos

Exploração de levantamento não-invasivo para delinear rapidamente a geografia escondida de acúmulos de hidrogênio natural e grandes recursos hídricos.

