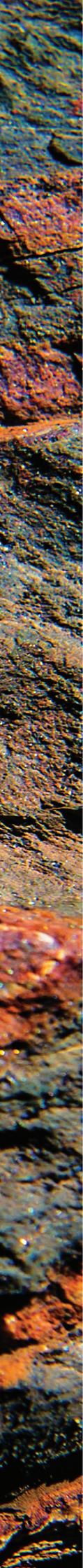


WHITEPAPER

# REDUÇÃO DE RISCOS RELACIONADOS A RECURSOS COM ESTIMATIVAS CONFIÁVEIS

Como a Seequent apoia modelagem e estimativas transparentes, auditáveis e integradas em todo o ciclo de vida da mineração



Sumário executivo	03
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 1</b> Por que a estimativa de recursos é mais importante do que nunca?	05
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 2</b> Onde os fluxos de trabalho tradicionais são insuficientes?	07
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 3</b> Integração da modelagem geológica em 3D e fluxos de trabalho de estimativa de recursos minerais para obter melhores resultados	10
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 4</b> Da coleta de dados à estimativa de recursos minerais usando ferramentas integradas	13
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 5</b> O futuro das geociências com inovação, ensino e colaboração	17
<hr/>	



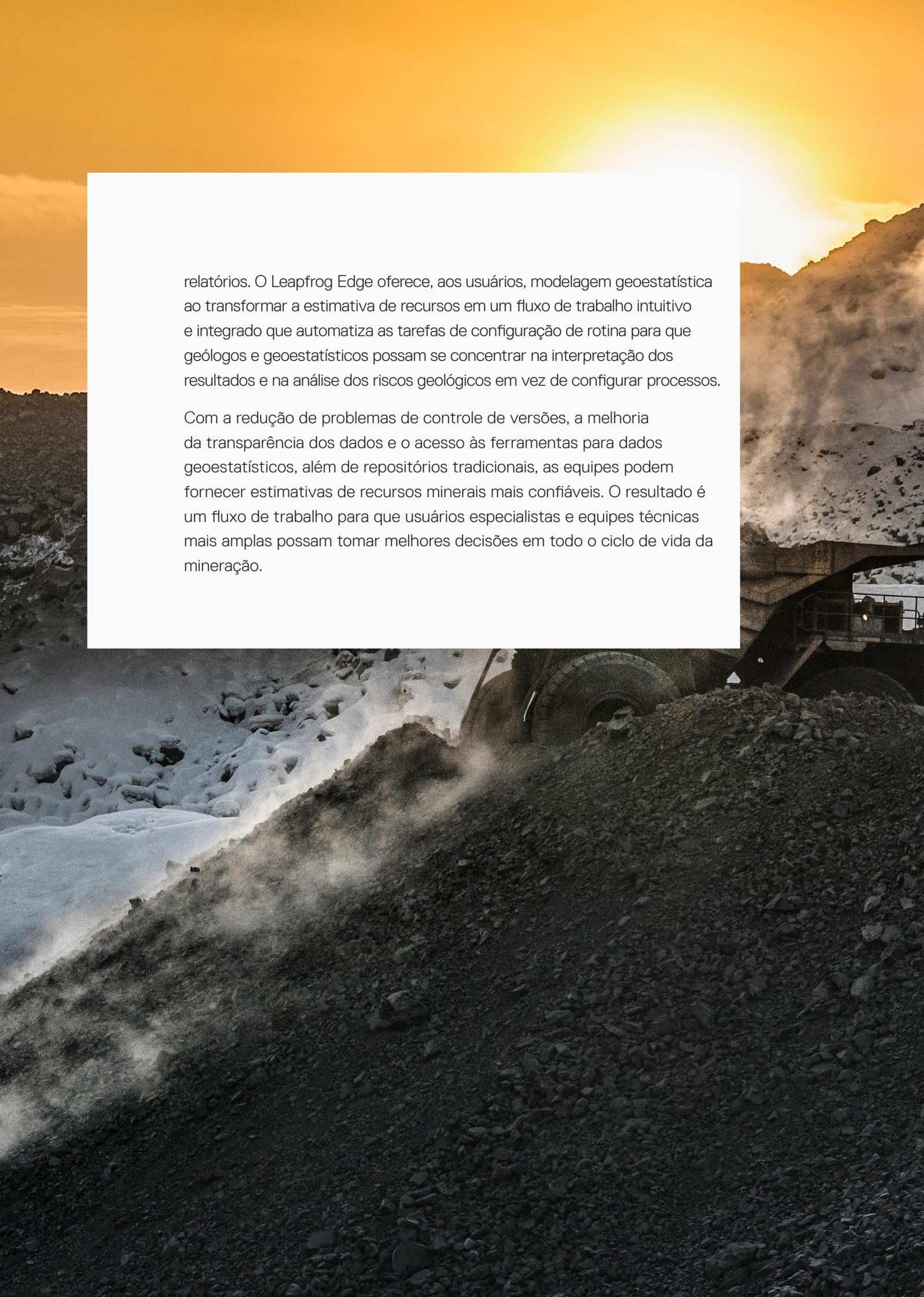
# Sumário executivo

As estimativas de recursos minerais são a base de todas as principais decisões sobre mineração. De exploração preliminar a planejamento da produção, essas estimativas orientam decisões de alto risco que afetam os resultados financeiros, a conformidade regulatória e a sustentabilidade ambiental.

Apesar da sua importância, muitas equipes ainda usam ferramentas independentes e processos manuais que dificultam a manutenção da uniformidade, a colaboração eficaz ou a integridade de suas estimativas. Fluxos de trabalho isolados, dependência de programação e problemas de controle de versões geram atrasos, incertezas e riscos.

Este whitepaper aborda os desafios técnicos e operacionais da estimativa tradicional de recursos minerais e apresenta uma alternativa avançada e integrada.

O fluxo de trabalho da Seequent, com o apoio do Leapfrog Geo e da sua extensão Edge, integra modelagem geológica e estimativa de recursos em um ambiente único, visual e pronto para auditoria. As equipes podem iterar rapidamente, rastrear automaticamente cada alteração de cada parâmetro, validar as suposições visualmente e garantir que os modelos sejam transparentes e estejam em conformidade com os padrões para criação de

A large mining truck is shown in the process of dumping a load of dark, rocky material into a large pile. The scene is set at sunset, with a bright orange and yellow sky. The truck is positioned on the right side of the frame, and the pile of material is in the foreground. The background shows a steep, rocky hillside under the setting sun.

relatórios. O Leapfrog Edge oferece, aos usuários, modelagem geoestatística ao transformar a estimativa de recursos em um fluxo de trabalho intuitivo e integrado que automatiza as tarefas de configuração de rotina para que geólogos e geoestatísticos possam se concentrar na interpretação dos resultados e na análise dos riscos geológicos em vez de configurar processos.

Com a redução de problemas de controle de versões, a melhoria da transparência dos dados e o acesso às ferramentas para dados geoestatísticos, além de repositórios tradicionais, as equipes podem fornecer estimativas de recursos minerais mais confiáveis. O resultado é um fluxo de trabalho para que usuários especialistas e equipes técnicas mais amplas possam tomar melhores decisões em todo o ciclo de vida da mineração.



## CAPÍTULO 1

# Por que a estimativa de recursos é mais importante do que nunca?

Poucas decisões sobre mineração são mais valiosas do que aquelas baseadas em estimativas de recursos minerais. Essas estimativas determinam a viabilidade comercial de um depósito, orientam o plano de lavra a longo prazo, influenciam investimentos e apoiam os relatórios técnicos. Por fim, elas definem o valor potencial de um projeto de mineração.

Mas, embora o valor da estimativa de recursos minerais (MRE, Mineral Resource Estimation) seja indiscutível, as pressões em torno de sua confiabilidade aumentaram. Atualmente, geólogos e profissionais da área de geoestatística enfrentam expectativas crescentes de agências reguladoras, investidores e stakeholders relacionados a questões ambientais, sociais e de governança (ESG, Environmental, Social and Governance). Agora, estruturas de relatórios públicos, como as normas NI 43-101 e o Código JORC, exigem estimativas precisas além de metodologias transparentes e fluxos de trabalho auditáveis.

Ao mesmo tempo, a complexidade dos recursos está aumentando. As equipes precisam modelar depósitos de várias commodities e domínios, geralmente com dados limitados e prazos curtos. Os erros têm consequências que afetam toda a empresa, de reservas superdimensionadas a riscos subestimados.

Nesse ambiente de alto risco, calcular uma estimativa de recursos não é apenas uma tarefa técnica; é uma questão de gerenciamento de riscos. A demanda é clara, ou seja, fluxos de trabalho mais rápidos, menos entregas e mais confiança em cada número apresentados em relatórios.

## **O que a Bre-X ensinou ao setor sobre a importância da transparência na MRE?**

Um dos exemplos mais conhecidos de estimativas incorretas de recursos foi o escândalo da Bre-X na década de 1990, quando descobertas exageradas de ouro levaram à inflação significativa dos preços das ações e a uma das maiores fraudes da história do setor de mineração.

A Bre-X começou a explorar ouro na Indonésia em 1993. As suas estimativas subiram de 30 milhões para 70 milhões de onças de ouro, e elevaram o preço de suas ações de menos de 1 CAD para 281 CAD. Em março de 1997, o golpe fracassou quando a devida investigação da Freeport-McMoRan revelou um teor insignificante de ouro, e o gerente de exploração da Bre-X foi declarado morto em uma queda de helicóptero. A exclusão dessa empresa do mercado suprimiu bilhões em valor para investidores, incluindo perdas para os principais fundos de pensão no Canadá.

Após esse escândalo, investidores e agências reguladoras esperam transparência e confiança em cada etapa.



## CAPÍTULO 2

# Onde os fluxos de trabalho tradicionais são insuficientes?

Para muitas equipes que analisam recursos, o processo de geração de estimativas de recursos minerais ainda depende de várias ferramentas e soluções alternativas, cada uma projetada para uma fase distinta do fluxo de trabalho, mas raramente criada para compatibilidade com outras ferramentas.

A modelagem geológica é feita em um sistema, a estimativa em outro, e a validação geralmente ocorre offline ou com scripts personalizados. Esses fluxos de trabalho isolados apresentam ineficiências, inconsistências e riscos desnecessários relacionados a problemas de controle de versões, erros de transferência de dados ou suposições inconsistentes.

Um dos desafios mais persistentes é a dependência de etapas manuais ou processos com script. Embora alguns usuários se sintam confortáveis com programação, isso geralmente cria gargalos, quebra a auditabilidade e limita o acesso para pessoas com experiência técnica específica.

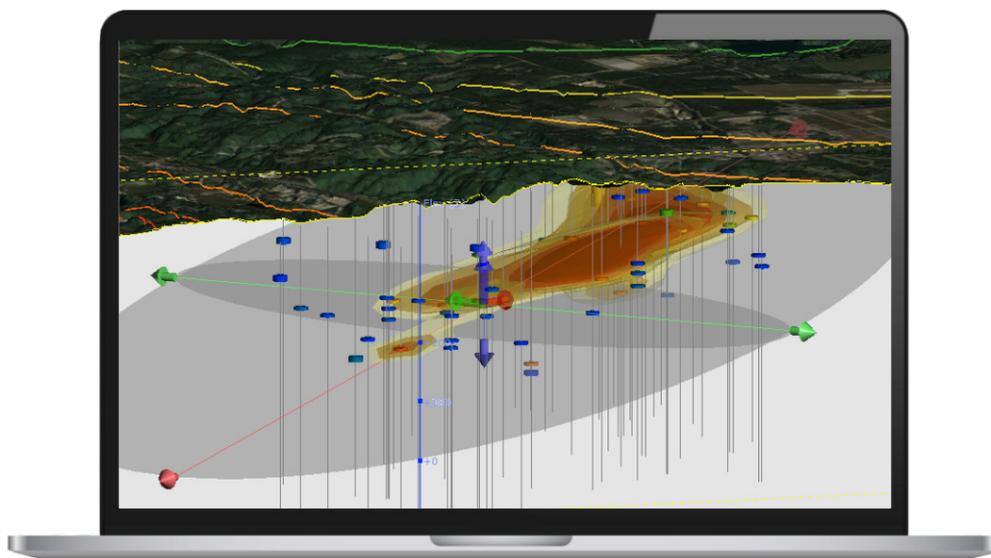
Quando codificados de forma personalizada ou documentados inadequadamente, os fluxos de trabalho tornam-se mais difíceis de auditar, replicar ou transferir entre equipes especialmente em ambientes de alta complexidade ou com urgência.

O controle de versões é outro grande desafio. Sem um ambiente unificado, as equipes enfrentam dificuldades para gerenciar várias iterações de modelos e conjuntos de dados. Isso gera confusão sobre qual versão é a mais atual ou válida. Essas inconsistências podem eliminar a confiança na estimativa final e complicar a geração de relatórios regulatórios.

Talvez o mais importante sejam os fluxos de trabalho tradicionais que limitam a visibilidade

entre as equipes. Quando modelos geológicos e estimativas de recursos são desenvolvidos em silos, a colaboração é reduzida. O contexto principal pode ser perdido entre as transferências, e as oportunidades de compartilhamento de informações com outros stakeholders importantes são perdidas.

O resultado é muito tempo gasto implantando fluxos de trabalho e pouco tempo gasto analisando, iterando ou aprimorando-os. Hoje, agilidade, transparência e confiança são essenciais. As abordagens tradicionais não são mais capazes de acompanhar o ritmo. Atualmente, uma pergunta é feita por muitos geólogos e profissionais em geoestatística. Os fluxos de trabalho usados para dados sobre o que está acima da superfície estão afetando a nossa capacidade de compreender verdadeira e detalhadamente o que está na subsuperfície?





## Como a Eldorado Gold integra fluxos de trabalho e equipes e agiliza a MRE?

Com equipes e stakeholders trabalhando em vários fusos horários, a Eldorado Gold, uma empresa produtora global de médio porte, precisava de uma forma para manter os modelos atualizados e permitir a colaboração em tempo real a partir da sede em Vancouver.

A equipe adotou o Leapfrog Geo, o Leapfrog Edge e o Central da Seequent para integrar a modelagem geológica e a estimativa de recursos em suas operações globais, da Grécia à Turquia e ao Canadá. Agora, as equipes podem fazer logon de qualquer lugar para acessar os modelos mais recentes, identificar mudanças e colaborar com facilidade.

Essa mudança trouxe benefícios importantes, como:



### **Colaboração global e acesso em tempo real:**

Os stakeholders podem visualizar, comparar e comentar sobre os modelos mais recentes de qualquer lugar e, dessa forma, apoiar melhores decisões em todos os locais e fusos horários.



### **Ciclos mais rápidos de estimativa:**

Edge, as atualizações de modelos refazem rapidamente as estimativas de recursos para iteração em minutos em vez de horas.



### **Gerenciamento simplificado de dados:**

O central é o mecanismo responsável por isso, pois fornece controle de versões e acesso seguro para cada modelo via Web..

[Leia a história completa →](#)



“Com a integração do Geo e do Edge, todas as alterações em um volume em 3D são atualizadas pelo próprio software. Ou seja, precisamos de 15 a 20 minutos de processamento para atualizar a nossa estimativa de recursos.”

— Sean McKinley

Geólogo sênior, Eldorado Gold



## CAPÍTULO 3

# Integração da modelagem geológica em 3D e fluxos de trabalho de estimativa de recursos minerais para obter melhores resultados

As soluções da Seequent eliminam os obstáculos criados por fluxos de trabalho isolados ao fornecerem um fluxo de trabalho intuitivo, visual e que integra perfeitamente a modelagem geológica e a estimativa de recursos em um único ambiente.

Com o Leapfrog Geo e o Leapfrog Edge juntos em uma plataforma, os usuários podem criar modelos geológicos e, em seguida, calcular a estimativa sem precisar usar outro sistema ou reprocessar dados e sem perder o contexto.

As interpretações geológicas seguem naturalmente para o processo de estimativa por meio de atualizações dinâmicas dos modelos e, dessa forma, ajudam equipes a iterar com confiança e uniformidade.

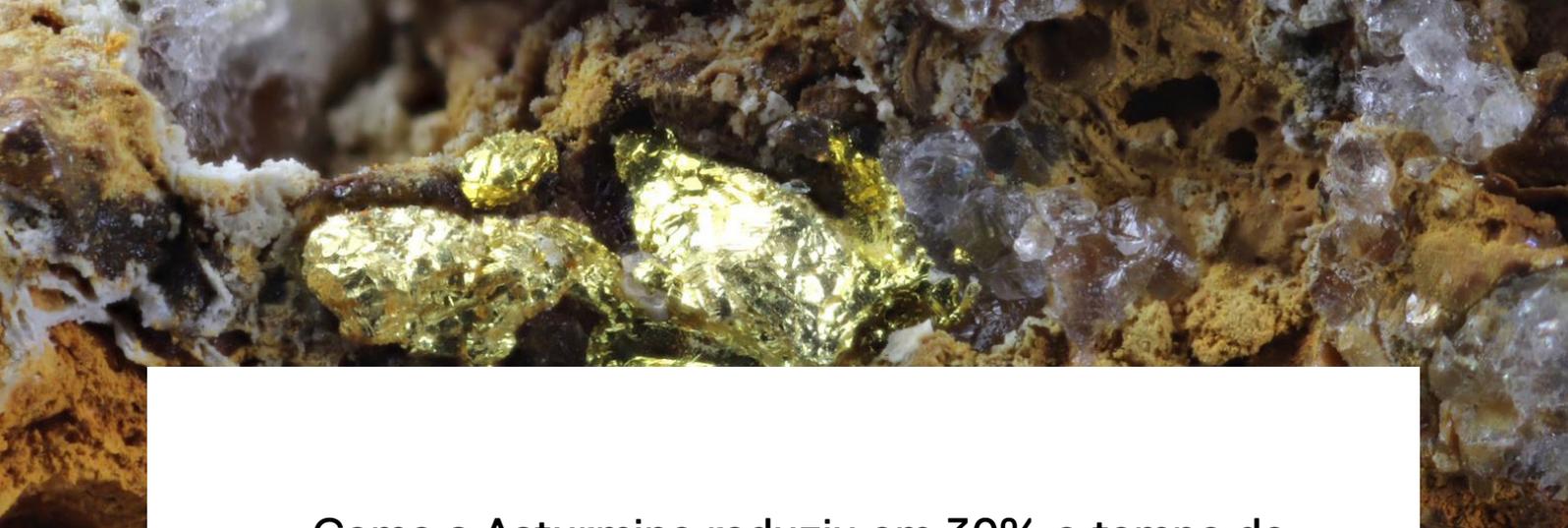


O Leapfrog Edge oferece a modelagem geoestatística diretamente aos usuários. Desenvolvido com a mesma interface intuitiva do Leapfrog Geo, ele aumenta a agilidade e a participação das equipes. A visualização convincente em 2D e 3D, por meio de ferramentas como modelagem de variogramas em 3D e destaque de gráficos, ajuda usuários a analisar tendências estruturais, padrões de teores e vizinhança de busca com mais clareza.

Para garantir confiança, cada alteração em parâmetros de estimativas é rastreada automaticamente. Os usuários podem exportar um relatório detalhado de parâmetros e um registro de auditoria para facilitar o

cumprimento de normas de criação de relatórios, como a NI 43-101 e o Código JORC. Usando métodos flexíveis de estimativa, como krigagem, distância inversa e função de base radial (RBF, Radial Basis Function), os usuários podem adaptar a abordagem à complexidade do depósito de interesse.

Com ferramentas integradas para validação, criação de relatórios transparentes e integração perfeita, a abordagem de integração das soluções da Seequent transforma a estimativa em um processo colaborativo, iterativo, baseado em riscos e que está pronto para ser dimensionado desde a exploração em etapa preliminar até o plano de lavra e a produção de longo prazo.



## Como a Asturmine reduziu em 30% o tempo de modelagem e estimativa de recursos minerais?

A Asturmine, uma empresa de consultoria em mineração com sede na Espanha, foi encarregada de desenvolver um modelo de controle de teores para um complexo sistema de veios polimetálicos no Cazaquistão.

Inicialmente dependentes de modelagem explícita e transferência manual de dados, os seus fluxos de trabalho eram longos e propensos a erros, ou seja, a criação de modelos em centenas de domínios podia demorar até oito meses.

Ao adotar o Leapfrog Geo e o Leapfrog Edge, a Asturmine reduziu em 30% o tempo de modelagem e cálculo da MRE e automatizou as atualizações em mais de 700 veios. Com fluxos de trabalho dinâmicos e integrados, além de modelagem de variograma em 3D integrada, a equipe foi capaz de gerar e revisar estimativas mais rapidamente, com mais clareza e confiança. Os principais resultados incluíram:



**Redução de 30% do tempo de modelagem e de cálculo da MRE**, que eliminou o retrabalho manual e as etapas de importação/exportação



**Redução de 40% em diluição mineral** que melhorou a precisão do projeto e reduziu os rejeitos



**Melhor desempenho de ESG** por meio de extração direcionada e menor impacto ambiental

[Leia a história completa →](#)



“Antes, a modelagem de um depósito mineral complexo levava oito meses. Agora, usando o Leapfrog Edge, podemos modelar mais de 700 veios em apenas dois meses, além de manter as estimativas atualizadas.”

— **Juan Antonio Fernández García**

Engenheiro sênior de mineração e geologia, Asturmine



## CAPÍTULO 4

# Da coleta de dados à estimativa de recursos minerais usando ferramentas integradas

O Leapfrog Geo e o Leapfrog Edge da Seequent são reconhecidos como as soluções líderes em modelagem em 3D no setor de mineração. Com a confiança de milhares de geocientistas em todo o mundo, o software tornou-se um recurso essencial para geologia de produção e exploração por sua combinação de agilidade, flexibilidade e facilidade de uso.

O Leapfrog Geo e o Leapfrog Edge fazem parte de um conjunto abrangente de soluções criadas para melhorar a compreensão de subsuperfícies e agilizar o gerenciamento de recursos e os fluxos de trabalho de estimativas.

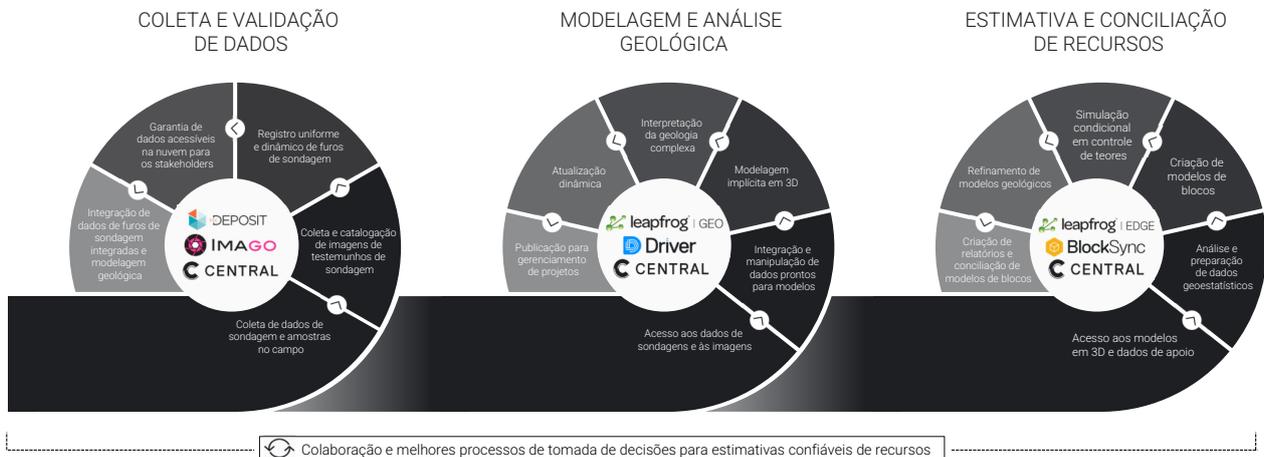


“Eu usei o Edge desde o primeiro dia. É impressionante ver a integração entre os modelos geológicos e a estimativa.”

— Gabi Brandau

Diretora de conhecimento sobre corpos de minério, Teck Resources

## Fluxo de trabalho integrado para estimativas de recursos minerais



### Coleta de dados com o Imago

A qualidade e a precisão dos modelos geológicos dependem muito dos dados que eles contêm. Usando o **Imago**, os usuários do Leapfrog Geo podem coletar, gerenciar e compartilhar imagens de alta resolução de amostras de testemunhos de sondagem, afloramentos e outras feições geológicas em tempo real. A capacidade de integração do Imago com o Leapfrog Geo significa vinculação direta dessas imagens com os dados geológicos e, portanto, melhora a qualidade visual de modelos e a capacidade do geólogo de tomar decisões baseadas em informações. Essa coleta de imagens em tempo real, *otimizada por aprendizado de máquina*, economiza tempo e garante que os geocientistas trabalhem com os dados mais atualizados e detalhados disponíveis.

### Gerenciamento de dados com o MX Deposit

Gerenciar dados de furos de sondagem e amostras é uma parte essencial de qualquer projeto de exploração. O **MX Deposit** é uma solução baseada na nuvem que simplifica a coleta, o gerenciamento e o compartilhamento desses dados para garantir que todos os stakeholders tenham acesso a

uma fonte única e confiável de informações. Usado com o Leapfrog Geo, o MX Deposit permite incluir grandes volumes de dados de furos de sondagem em seus modelos em 3D para simplificar o processo de gerenciamento e interpretação de dados. Isso garante que os geocientistas possam atualizar rapidamente os seus modelos com as informações mais recentes sobre perfuração e, conseqüentemente, garante melhores decisões e reduz os cronogramas de projetos.

### Centralização dos dados de modelos de blocos usando o BlockSync

O **BlockSync** redefine como as equipes gerenciam, analisam e integram seus dados de modelos de blocos ao oferecer um sistema aberto e auditável para registros. Usando essa solução, as equipes podem colaborar nos dados de modelos de blocos de qualquer fonte. Atualizações rápidas de modelos e insights de recursos em tempo real aumentam o conhecimento do corpo de minério e apoiam a tomada de decisões estratégicas e de operações. Quando usado com o Leapfrog Geo, os usuários podem colaborar simultaneamente nos mesmos dados de um modelo e fazer atualizações em subconjuntos desse modelo, sejam subconjuntos volumétricos ou baseados em atributos. As regras de

gerenciamento de divergências garantem que todas as alterações sejam controladas adequadamente com novas versões.

## Agilidade em análises de dados de sondagem usando o Driver

O **Driver** é uma ferramenta para análises rápidas baseada na nuvem e que apoia análises exploratórias de dados espaciais de conjuntos de dados de sondagem. O aprendizado de máquina integrado automatiza a análise de dados numéricos (como análise) e de dados de categorias (como litologia) para que os profissionais possam compreender rapidamente a estrutura do depósito e os domínios, além de criar melhores modelos posteriormente com menos esforço manual e sem necessidade de programação. Os usuários podem identificar com mais eficiência complexas relações litológicas ou

de teores em 3D, revelar tendências de mineralização e recursos de depósitos estruturais, além de classificar e agrupar dados de forma inteligente. As informações de tendências estruturais podem ser facilmente incorporadas em modelos do Leapfrog sem processos manuais.

## Conexão e colaboração na nuvem usando o Seequent Central

O Leapfrog Geo e o Leapfrog Edge tornam-se ainda mais eficazes quando publicam diretamente no **Seequent Central**, um centro seguro e baseado na nuvem para modelos, dados e comunicação. O Central transfere objetos do Leapfrog e de outras ferramentas da Seequent para o mesmo projeto para que as equipes de exploração, recursos e geotecnologia visualizem os mesmos dados no mesmo espaço. Por exemplo, as atualizações de modelos do Leapfrog Geo iniciam instantaneamente uma nova estimativa no Leapfrog Edge e, em seguida, as publicam no Central para que todos stakeholders de projetos estejam atualizados.

## Pronto para o futuro com o Seequent Evo

Embora o Central forneça a estrutura de colaboração atual para o Leapfrog Geo e o Leapfrog Edge, o **Seequent Evo** é a plataforma de última geração que reunirá dados, computação e IA em todo o ciclo de vida da mineração.



**Computação integrada na nuvem:** execute tarefas complexas com dados geoestatísticos, como simulação condicional, sem restrições de hardware local.



**Ecossistema aberto e dimensionável:** usando APIs, as equipes podem integrar o Evo a scripts existentes ou criar aplicativos personalizados. Aplicativos nativos do Evo, como o BlockSync e o Driver, estão disponíveis desde o primeiro dia.



**Mesmo DNA do Leapfrog:** o Leapfrog Geo e o Edge se integram diretamente aos espaços de trabalho do Evo para que os modelos e as estimativas sejam transferidas para análises avançadas ou retornadas ao aplicativo no desktop sem problemas.

Com a arquitetura dimensionável do Evo, as equipes que analisam recursos podem verificar insights de aprendizado de máquina, automatizar processos repetitivos de garantia e controle de qualidade, além de colaborar entre disciplinas; tudo isso mantendo a exigência de auditabilidade das agências reguladoras.

## Como o fluxo de trabalho integrado das soluções da Seequent permite uma melhor colaboração e estimativas mais confiáveis

O trabalho de geólogos de recursos envolve muita colaboração. Eles precisam analisar dados de geólogos de exploração, geólogos de minas e geólogos de desenvolvimento de recursos para gerar estimativas usando um modelo de blocos. Em seguida, essas estimativas são apresentadas a inúmeros stakeholders para apoiar as principais decisões de negócios. Eles colaboram com stakeholders internos e externos, incluindo tomadores de decisão de nível de diretoria, finanças, engenharia de minas e operações além de serviços técnicos, a fim de identificar oportunidades para otimizar a extração de recursos. Por esse motivo, é essencial criar um modelo de recursos seguro, auditável, com controle de versões e que todos os stakeholders possam acessar para colaboração ou análise

O Evo fornece uma única fonte de informações baseada na nuvem que controla versões automaticamente a cada

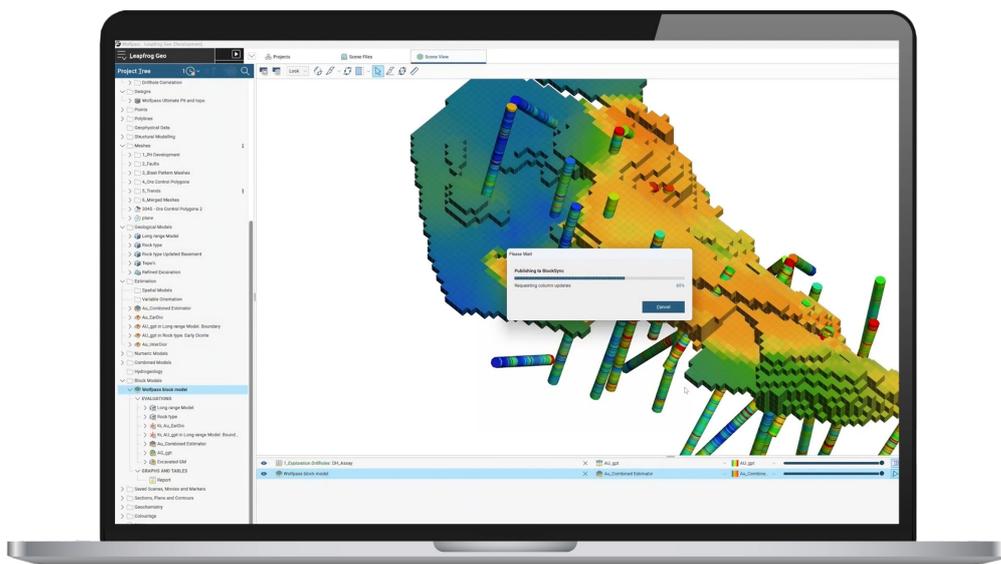
alteração feita, quem a fez e os comentários complementares para contextualização. Considerando as permissões baseadas em funções, os stakeholders podem fazer download, visualizar ou atualizar os dados centralizados de qualquer lugar.

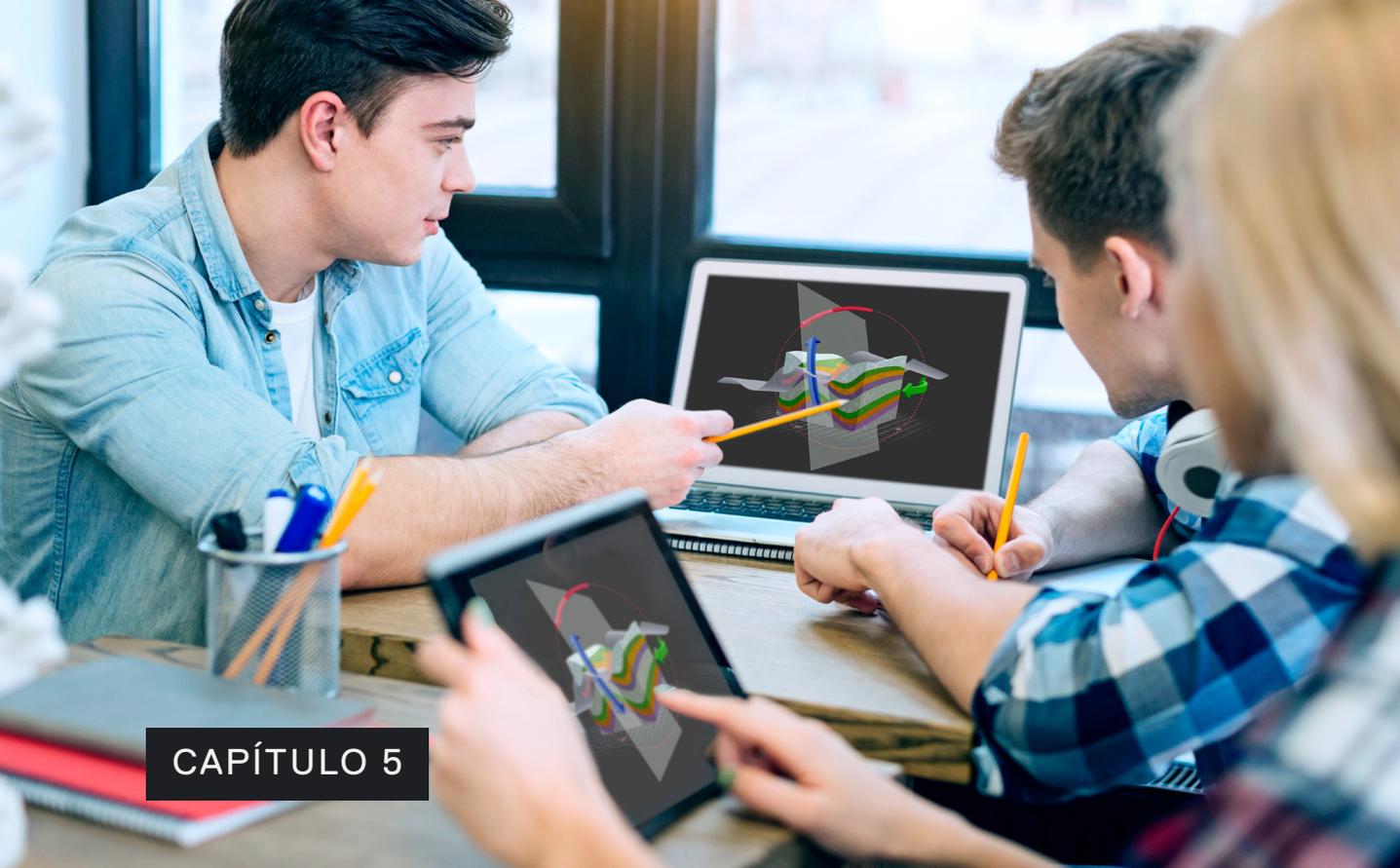
O BlockSync amplia essa governança para o próprio modelo de blocos para que os usuários saibam sempre qual tabela de tonelagem/teor estão divulgando. Os relatórios, gerados com apenas um clique, mantêm uma trilha completa de auditoria, ou seja, eliminam as cópias em Excel propensas a erros comuns em fluxos de trabalho baseados em arquivos.

Com o BlockSync e o Leapfrog, vários usuários podem atualizar subconjuntos volumétricos ou de atributos simultaneamente, pois as regras integradas sobre divergências geram novas versões limpas. Ao mesmo tempo, os gráficos de swath do Edge tornam as diferenças entre versões imediatamente visíveis.

As APIs abertas do Evo significam que o mesmo modelo de blocos pode ser incluído na plataforma Jupyter Notebook, em painéis do PowerBI ou em pacotes de terceiros para plano de lavra sem afetar a cadeia de custódia.

O resultado é um fluxo de trabalho simplificado e seguro entre equipes para melhor colaboração, transparência e tomada de decisões.





## CAPÍTULO 5

# O futuro das geociências com inovação, ensino e colaboração

Na Seequent, temos um compromisso com a geologia. Por sermos uma empresa criada por geocientistas para geocientistas, estamos constantemente expandindo os limites do que é possível com tecnologias e ferramentas inovadoras. Ao combinar conhecimento técnico com desenvolvimento de projetos para os usuários, criamos um portfólio de soluções que melhoram a maneira como compreendemos a subsuperfície e tornam processos geológicos complexos mais acessíveis e intuitivos.

## Inspiração para a próxima geração de geocientistas

Reconhecemos a necessidade de inspirar e fornecer soluções para a próxima geração de geocientistas. Por isso, criamos o [Visible Geology](#), um aplicativo gratuito baseado na Web e desenvolvido para mostrar conceitos geológicos a estudantes e educadores. O Visible Geology vai além dos métodos tradicionais de ensino em 2D e capacita os alunos com uma experiência imersiva de aprendizado em 3D.

Com seus recursos intuitivos de modelagem em 3D, recursos para colaboração em sala de aula e redes estereográficas digitalizadas, o Visible Geology ajuda estudantes a compreender conceitos básicos sobre geologia de forma fascinante. Os educadores podem incluir perfeitamente essa ferramenta na grade curricular e, portanto, modernizar a experiência de aprendizagem e envolver os alunos com topografias interativas, seções transversais, amostras de testemunhos de sondagem e muito mais.

Ao incentivar alunos a explorar subsuperfícies em um ambiente digital inovador, a Seequent desempenha um papel essencial para definir o futuro do campo das geociências.

Confira Visible Geology para obter mais informações. →

**Uma melhor  
estimativa de  
recursos começa  
com o Leapfrog Edge**

Acesse [seequent.com/leapfrog-edge](https://seequent.com/leapfrog-edge) para conferir vídeos sobre produtos, ler histórias de sucesso de clientes ou solicitar uma avaliação gratuita de 14 dias ou uma demonstração em tempo real.

## Compreensão da subsuperfície para construir um mundo melhor

Ao permitir uma melhor compreensão da subsuperfície, a Seequent está transformando a forma de trabalhar das empresas.

Como líder mundial em software para colaboração, análise e gerenciamento de dados e modelagem de dados geológicos, a Seequent lidera os esforços para compreender melhor a Terra.

Contratamos pessoas incríveis que colaboram com os nossos clientes e encontram soluções tecnológicas para enfrentar os desafios e obter os resultados mais positivos para um mundo melhor.

A Seequent, The Bentley Subsurface Company, integra o meio ambiente e o mundo construído para que as empresas possam gerenciar o impacto de seus projetos em todas as fases.

**Seequent – compreensão da subsuperfície**