

O que um estudo-piloto no Brasil nos ensinou sobre a construção de um inventário florestal confiável

Julho de 2026

Em 2026, a 44moles viajou ao Brasil para se reunir com algumas das maiores empresas florestais do país e melhor compreender como o LiDAR terrestre poderia complementar as práticas existentes de inventário florestal. Uma dessas conversas levou a um projeto-piloto com a Dexco, uma operadora de plantações em larga escala que buscava alternativas terrestres para seus inventários de florestais.

A questão em aberto para o cliente era se uma abordagem digital terrestre poderia fornecer dados primários, medidos com precisão suficiente para servir como uma referência confiável para métodos de monitoramento de maior abrangência, como o LiDAR aéreo - ALS. A cobertura abrangente proporcionada pelos métodos aéreos é, sem dúvida, valiosa. No entanto, suas estimativas de volume são tão precisas quanto os modelos de referência em campo nos quais se baseiam. O projeto-piloto foi desenvolvido não apenas para avaliar se o escaneamento terrestre poderia substituir o inventário manual, mas também para verificar se os dados gerados poderiam servir como base de calibração para um monitoramento contínuo de grandes áreas, com custo e velocidade compatíveis com a operação em escala.

Propusemos uma prova de conceito, cujo objetivo era simples:

(1) O LiDAR terrestre consegue produzir dados de inventário nos quais os profissionais florestais possam confiar em condições operacionais reais e (2) essa precisão pode se tornar a camada de referência para um monitoramento escalável?

O piloto consistiu em 66 sessões de escaneamento com LiDAR terrestre (TLS) em parcelas de inventário, das quais 70% eram de talhadia, um dos problemas em aberto mais difíceis no inventário com LiDAR terrestre. Por isso, tratamos cada etapa do fluxo de trabalho como uma oportunidade para entender onde a tecnologia atual é bem-sucedida e onde ainda requer conhecimento especializado humano.

66

ESCANEAMENTOS

70%

PARCELAS DE TALHADIA

5

LIÇÕES

Cinco lições em destaque

01 A simplicidade operacional pode melhorar a confiabilidade técnica.

No início, nosso fluxo de trabalho dependia do registro conjunto de vários escaneamentos em um software de terceiros antes do processamento dos dados. Na prática, isso adicionava uma etapa de complexidade que nem sempre trazia benefícios proporcionais: quando o registro falhava, era necessário refazer o processamento, aumentando o tempo e a intervenção manual.

Para eucaliptos de primeira rotação, com fuste único e espaçamento regular, adotamos agora uma abordagem mais simples. Em vez de registrar os escaneamentos entre si, realizamos dois escaneamentos independentes, posicionados a uma distância moderada e analisados separadamente.

Essa mudança trouxe uma vantagem importante: maior cobertura do povoamento. Ao posicionar os dois escaneamentos separados por algumas linhas, conseguimos capturar mais árvores e uma área espacial mais ampla, representando melhor a variabilidade natural do povoamento do que um único escaneamento ou dois escaneamentos rigidamente registrados.

Na prática, a pequena perda de sobreposição entre os escaneamentos tem um impacto estatístico menor do que o custo operacional e o tempo associados às falhas de registro.

Os processos mais simples e confiáveis são os que tornam a tecnologia verdadeiramente escalável.

02 A estrutura da floresta importa mais do que o tamanho do projeto.

Uma das discussões mais valiosas durante o piloto concentrou-se no desenho das parcelas. Os inventários florestais tradicionais normalmente se baseiam em amostragem de área fixa, e há um bom motivo para isso: é o padrão global e, quando aplicada corretamente, é estatisticamente sólida. Nosso fluxo de trabalho, porém, calcula a área da parcela dinamicamente.

Parcelas de área fixa enfrentam duas dificuldades práticas, ambas concentradas no limite da parcela: decidir se uma árvore situada exatamente na borda deve ser contabilizada e o tempo necessário para medir com precisão suficiente as distâncias até essas árvores de borda para tomar essa decisão. Nossa abordagem dinâmica evita essa ambiguidade específica por concepção.

Há uma segunda vantagem, especialmente importante para o escaneamento terrestre. Uma abordagem de área fixa pressupõe que todas as árvores dentro do limite possam ser medidas. Na prática, a vegetação do sub-bosque às vezes bloqueia a linha de visada do scanner até uma árvore, tornando impossível garantir essa premissa. Uma

abordagem dinâmica trabalha com o que realmente está visível e pode ser medido a partir do ponto onde o escaneamento foi realizado.

Árvores mortas, clareiras de colheita e espaçamentos irregulares aparecem com frequência em plantações comerciais. Os métodos de inventário precisam considerar essa variabilidade, em vez de presumir povoamentos uniformes — um padrão que esperamos continuar observando à medida que assumirmos novos projetos.

03 A talhadia continua sendo um dos problemas mais difíceis para o LiDAR terrestre.

Múltiplos fustes originados da mesma cepa ainda representam um desafio para a automação. Hoje, esses casos passam por revisão manual da nossa equipe de análise, o que aumenta o tempo de processamento, mas garante que a qualidade das medições seja mantida.

A segmentação automatizada de estruturas com múltiplos fustes continua sendo um desafio relevante para o setor. Por isso, já investimos em componentes específicos do nosso pipeline para lidar com essas condições e tornar o processo cada vez mais robusto.

Atualmente, todo resultado de talhadia passa por revisão manual antes de ser entregue ao cliente. A segmentação automatizada, por si só, ainda não atinge o nível de precisão que exigimos. Esse é um ponto que estamos trabalhando para mudar: a automação de múltiplos fustes está em desenvolvimento, com o objetivo de ter, até o outono de 2026, uma solução funcional capaz de atingir o mesmo padrão de qualidade da revisão manual.

04 A automação só é valiosa quando melhora a qualidade.

Uma das constatações mais inesperadas do piloto foi que automatizar parte do processo nem sempre significa torná-lo mais rápido. Em alguns casos, etapas automatizadas de controle de qualidade ainda exigiam uma verificação humana, adicionando uma camada extra ao fluxo de trabalho.

Existe um espaço importante entre um processo totalmente manual e um sistema completamente autônomo: aquele em que os algoritmos fazem o trabalho, mas as pessoas ainda precisam validar os resultados. No inventário florestal, onde a precisão é fundamental, essa etapa de validação continua tendo um papel importante.

Por isso, nosso objetivo não é automatizar tudo simplesmente por automatizar. Queremos introduzir automação onde ela comprovadamente melhora o processo — tornando-o mais rápido, eficiente e, principalmente, confiável.

05 O inventário florestal é mais do que a coleta de dados.

O projeto piloto reforçou uma conclusão importante: coletar dados LiDAR é apenas uma parte do processo para produzir um inventário confiável. Cada etapa influencia o resultado, e pequenos problemas no início podem se refletir em todo o fluxo. Melhorar apenas os algoritmos, sem olhar para o processo como um todo, não seria suficiente para gerar um inventário significativamente melhor.

A validação manual consome tempo, mas é também uma etapa de transição. À medida que a automação amadurecer, esperamos reduzir os prazos de entrega sem abrir mão dos padrões de qualidade que estabelecemos. No fim, a tecnologia só cumpre seu papel quando melhora o processo operacional como um todo.

O que aprendemos sobre o produto

O piloto confirmou vários pontos fortes da plataforma Digital Forest Inventory (DFI).

Um registro visual permanente

Os inventários tradicionais muitas vezes transformam o trabalho de campo em números e planilhas. Com o LiDAR terrestre, o DFI preserva uma representação digital interativa de 360° de cada parcela escaneada. Isso permite que gestores de inventário voltem à parcela digitalmente, girem a visualização e inspecionem uma árvore ou uma área específica como se ainda estivessem em campo — sem precisar retornar fisicamente ao local.

Medições de altura e diâmetro

A pergunta sobre se nossas medições são mais precisas do que as de um inventário manual tradicional não pode ser respondida de forma simples. Uma comparação desse tipo depende de qual método é escolhido como referência — e essa escolha, por si só, envolve uma definição metodológica.

O que podemos afirmar objetivamente é que, nas parcelas já validadas, medimos a altura de todas as árvores. No inventário tradicional, normalmente a altura é medida apenas em uma amostra de árvores e as demais são estimadas a partir do diâmetro. Também coletamos múltiplas medições de diâmetro por árvore ao invés de uma única medição, como é comum na prática tradicional. Hoje, essas informações adicionais tornam principalmente nossas estimativas de volume mais robustas. O próximo passo é utilizá-las também para caracterizar com maior precisão a forma do fuste de cada árvore.

A longo prazo, vamos reunir essas medições diretas em nível de árvore, abrangendo diferentes regiões e clones, permitindo construir um conjunto de dados de referência mais amplo e consistente. Esse banco de dados mais robusto permitirá aprimorar nossos próprios modelos e, potencialmente, calibrar outras tecnologias de sensoriamento, como o LiDAR aéreo, que permite estimar o volume em grandes áreas.

Maior transparência operacional

O DFI traz transparência para o processo, permitindo que os gestores entendam como as medições foram geradas e identifiquem onde houve validação manual. O mesmo visualizador usado pela nossa equipe para verificar a qualidade dos dados também fica disponível aos clientes, permitindo explorar todos os dados de parcelas e confirmar os resultados em um dashboard.

Perspectivas futuras

As lições deste piloto reforçam uma visão: o futuro do inventário florestal será oferecer melhores ferramentas aos profissionais que trabalham com floresta. Menos medições repetitivas, equipes menores e mais seguras em campo e mais tempo para análise técnica. Uma base de dados confiável para que gestores possam consultar, verificar e contextualizar sem precisar retornar ao local.

Uma das possibilidades que surgiu durante o piloto, embora não estivesse entre os objetivos iniciais, foi levar essa precisão de campo para além do inventário terrestre. Métodos de cobertura total, como o LiDAR aerero, oferecem uma escala que o escaneamento terrestre não consegue alcançar de forma economicamente viável. Ao mesmo tempo, cada parcela escaneada em campo adiciona um ponto de referência ao nosso banco de dados, relacionando o que os sensores observam do ar daquilo que realmente está presente no solo.

O próximo passo é conectar essas duas escalas: usar dados de referência obtidos em campo para calibrar e aprimorar o monitoramento aéreo de grandes áreas. A visão é construir um fluxo integrado, que combine a precisão do solo com a cobertura aérea, com a 44moles coordenando o protocolo de calibração e as operações de voo por meio de parceiros especializados.

Essa expansão também traz um novo desafio. Em uma operação de cobertura total, verificar individualmente cada árvore, como fazemos hoje no visualizador de parcelas, deixa de ser economicamente viável. Acreditamos, porém, que essa troca entre profundidade e escala pode fazer sentido quando o objetivo é monitorar grandes áreas de forma contínua.

Essa experiência continuará orientando o desenvolvimento do DFI: automatizar o que realmente agrega valor e, ao mesmo tempo, conectar a precisão das medições em campo ao monitoramento contínuo de grandes áreas. É nessa combinação entre precisão, escala e confiabilidade que vemos o próximo passo do inventário florestal.

SOBRE A 44MOLES

A 44moles desenvolve sistemas LiDAR para inventário florestal digital, ajudando empresas e proprietários de terras a trabalhar com melhores dados. Nosso trabalho se concentra em resolver problemas práticos de inventário, ao mesmo tempo em que promovemos a automação de forma responsável por meio de uma colaboração próxima a profissionais florestais.