

# AGRICULTURA DE PRECISÃO

Boletim Técnico 04

## Mapas de produtividade

Leonardo F. Maldaner<sup>1</sup>; Marcelo C. F. Wei<sup>2</sup>; José P. Molin<sup>3</sup>

jan/2019

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas (USP-ESALQ); [leonardofm@usp.br](mailto:leonardofm@usp.br)

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas (USP-ESALQ); [marcelochan@usp.br](mailto:marcelochan@usp.br)

<sup>3</sup> Professor e coordenador do Laboratório de Agricultura de Precisão (USP-ESALQ). [jpmolin@usp.br](mailto:jpmolin@usp.br)

### Quem somos?

O LAP, oficializado em 2008, é um laboratório dentro da USP-ESALQ dedicado ao estudo da Agricultura de Precisão, envolvendo infraestrutura e pessoas em torno do tema.

### Quais os objetivos?

Oferecer infraestrutura e ambiente de trabalho para as atividades e projetos relacionados ao estudo da variabilidade espacial das lavouras e das tecnologias embarcadas nos veículos e máquinas agrícolas.

### Onde estamos localizados?

O LAP pertence ao Departamento de Engenharia de Biosistemas da USP-ESALQ, em Piracicaba, SP.

USP ESALQ  
**LAP**  
Laboratório de Agricultura de Precisão

O conhecimento do ciclo das culturas, dos padrões de crescimento e desenvolvimento das plantas é fundamental para a gestão da lavoura. As informações sobre o rendimento físico (produtividade) e o custo de produção da cultura são primordiais na administração de uma empresa agrícola. A análise da eficiência da produção juntamente com o estudo de seus processos específicos indicam o sucesso de determinado produtor no seu esforço de produzir. O mapeamento da produtividade das culturas é o ponto de partida para a aplicação das técnicas de Agricultura de Precisão (AP), que visam auxiliar as tomadas de decisões no empreendimento agrícola.

A AP distingue-se da agricultura tradicional pelo seu nível de gestão. As práticas tradicionais como recomendação de adubação eram direcionadas pela meta de produtividade cujo solo da lavoura era considerado homogêneo. Em vez de gerenciar lavouras inteiras como uma única unidade, o uso de ferramentas de AP possibilita realizar ações de forma diferenciada para cada porção das lavouras. Com a informação espacializada da produtividade, o produtor pode identificar variações de rendimento dentro de uma lavoura e a partir disso, investigar as causas destas variações (relação entre causa e efeito).

Para que a lavoura seja gerenciada de forma uniforme ou não, é necessário que algumas perguntas

sejam respondidas e para isso o mapa de produtividade torna-se o parâmetro inicial quanto à adoção da AP (Figura 1). Lavouras que apresentam a mesma variabilidade ao longo dos anos, ou seja, as manchas de baixa e alta produtividade ocorrem sempre no mesmo espaço ao longo dos anos, viabilizam o uso de ferramentas de AP para a gestão localizada. Além disso, os mapas de produtividade podem ser usados para gerar mapas de receita e juntamente com os custos de produção, podem gerar mapas de lucratividade (Figura 2) que auxiliam o gerenciamento localizado da lavoura a custos aceitáveis.

A obtenção de dados de produtividade é realizada por mensurações ou estimativas da quantidade de um determinado produto durante a colheita. A produtividade espacializada é gerada por sensores que medem de forma direta ou indireta a quantidade do produto colhido, instalados na colhedora juntamente com a localização fornecida por um receptor GNSS, a largura de corte e a distância percorrida pela colhedora (Figura 3a).

As técnicas diretas de medição do produto colhido envolvem medições de massa e volume. Como exemplo, temos os monitores de produtividade de cana-de-açúcar, da batata e da beterraba que utilizam células de carga (balança) para medir o fluxo de massa ( $\text{kg s}^{-1}$ ) do produto colhido. Ainda para a

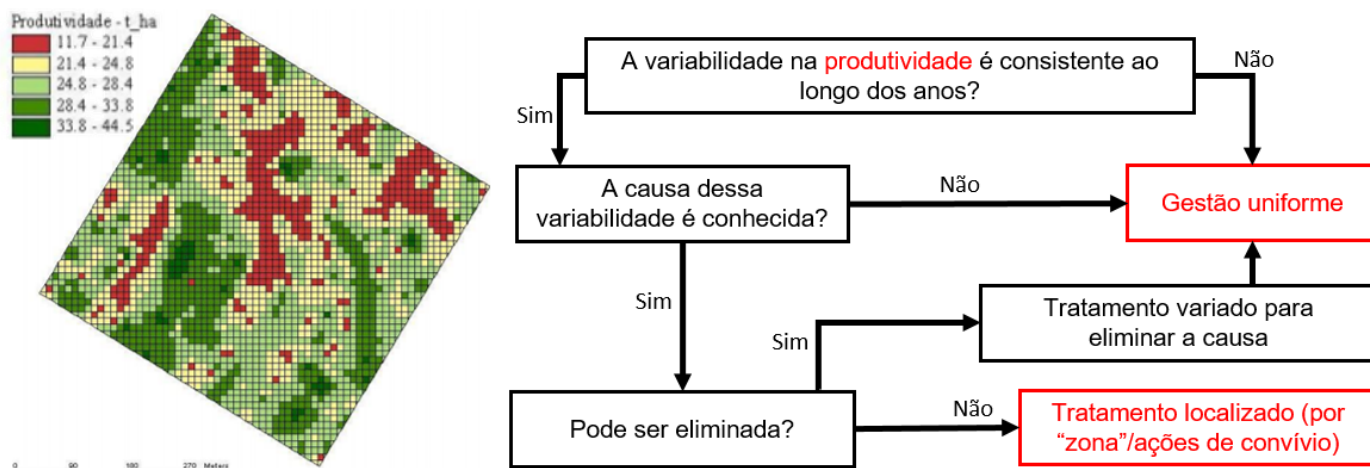


Figura 1. Uso do mapa de produtividade para a tomada de decisão. Fonte: Adamchuk (2016)

cultura da cana-de-açúcar, existem opções como a estima do volume de cana que passa no elevador utilizando câmeras fotográficas. Na cultura do café, existe um monitor de produtividade com tecnologia nacional que utiliza sensores que medem o volume de grãos de café colhidos nas taliscas da esteira de descarga. Para as colhedoras de grãos, há uso de sensores ópticos que medem o volume de produto em cada talisca do elevador de grãos (Figura 3b).

As técnicas indiretas de medição do produto colhido envolvem sensores gravimétricos, com destaque para o sistema denominado "placa de impacto" na colhedora de grãos (Figura 3c), e o uso de dados gerados pela própria máquina, como por exemplo, o uso do sinal da pressão hidráulica do picador da colhedora da cana-de-açúcar para estimar a quantidade de cana colhida.

Dados gerados por sensores e coletados automaticamente apresentam erros sistemáticos inseridos no conjunto de dados, tornando o pós-processamento de dados uma etapa indispensável para eliminar esses erros. Os *outliers* presentes no conjunto de dados de produtividade são prejudiciais à qualidade da informação contida no mapa e podem levar a interpretações errôneas. Um *outlier* de produtividade é um ponto georreferenciado cujo valor de produtividade é significativamente diferente daqueles pontos de valores de produtividade em sua vizinhança espacial. Nos dados gerados por monitores de produtividade podem ser encontrados erros sistemáticos devido a características dos sensores utilizados e pela característica física da própria colhedora. A qualidade do receptor GNSS utilizado também gera erros de posicionamento dos dados gerados pelo monitor (Figura 4a). Também é

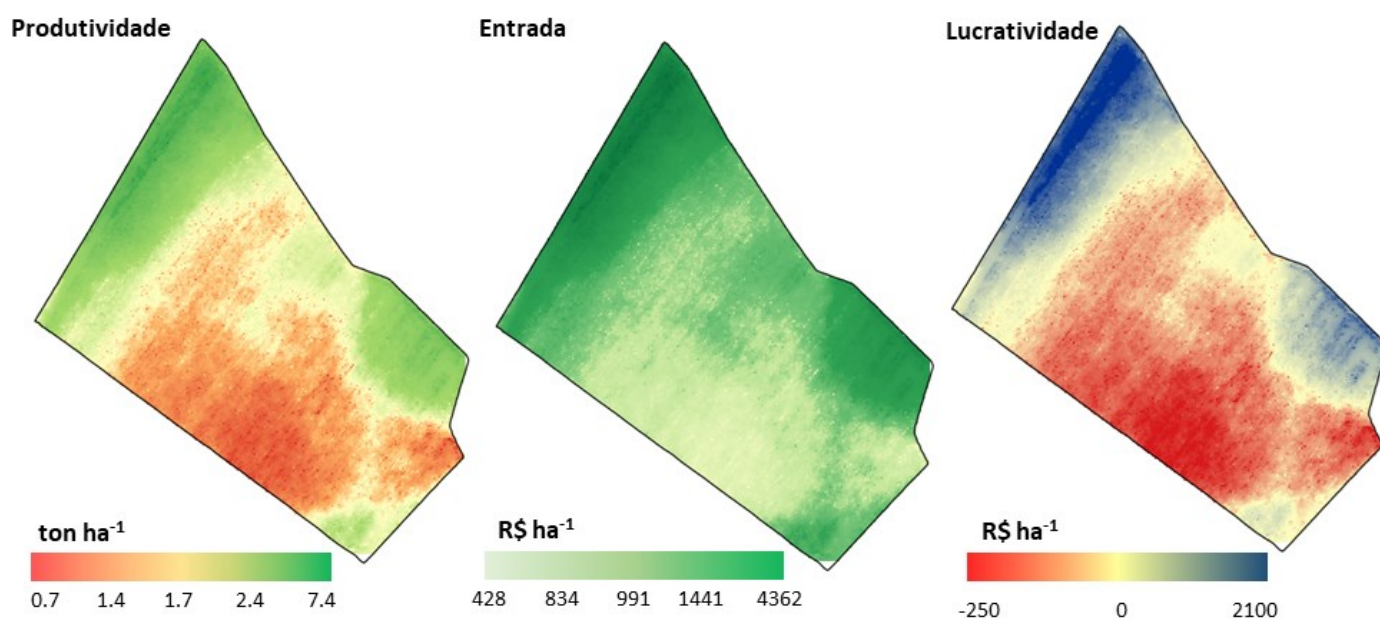


Figura 2. Geração do mapa de lucratividade por meio da diferença entre o valores de entrada ( $R\$ ha^{-1}$ ), gerados pelo mapa de produtividade, e custo de produção ( $R\$ ha^{-1}$ )

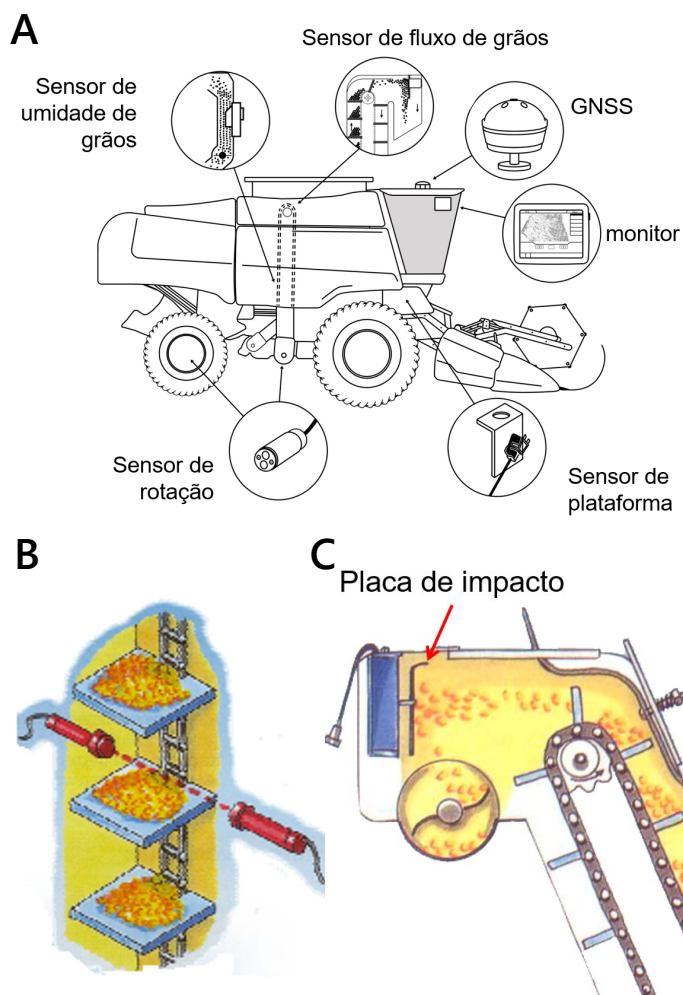


Figura 3. Componentes necessários para gerar um mapa de produtividade em grãos (A). Sensor de fluxo de grãos volumétrico (B) e sensor gravimétrico (C).

desejável que os dados gerados sejam distribuídos de modo que a área de amostragem seja semelhante para todos os pontos.

Erros de tempo de retardo, ou seja, o tempo que o produto colhido demora para chegar até os sensores e erros de tempo de enchimento, que é o tempo que o fluxo do produto colhido demora para estabilizar no local onde o sensor está instalado, se não removidos, podem ser facilmente visualizados no começo das passadas de entrada da colhedora nas cabeceiras dos talhões (Figura 4b). Erros de largura incorreta da plataforma são encontrados em dados gerados por colhedoras de grãos. A informação incorreta da largura da plataforma influencia na área colhida e conseqüentemente gera valores de produtividade errôneos (Figura 4c). Este tipo de erro não é encontrado em dados de produtividade gerados por monitores instalados em colhedoras que apresentam largura fixa. É o caso da colheita de culturas como a cana-de-açúcar e o café, em que as colhedoras realizam o processamento de uma única fileira da cultura por vez.

Um tipo importante de erro encontrado em

mapas de produtividade é causado pela geração de dados de produtividade definidos por vários monitores na mesma lavoura e com calibrações desiguais. Este é um cenário comum de colheita em grandes lavouras de grãos. Os valores dos dados de produtividade das colhedoras que estão trabalhando próximas umas das outras podem diferir amplamente se um ou mais monitores não estiverem calibrados corretamente, gerando mapas com faixas de produtividades diferentes. Essa diferença deve ser tratada antes da geração do mapa.

A calibração do monitor de produtividade é realizada com o objetivo de transformar o número gerado pelo sensor de fluxo em um valor equivalente à quantidade real colhida. Normalmente é realizada com uma sequência de pesagem de alguns tanques graneleiros cheios. O valor real é informado ao sistema do monitor, que realiza ajustes entre o que foi colhido de fato e o valor de produtividade fornecido pelo monitor. Repete-se esta operação até que o valor do erro entre o medido pelo monitor e o valor real seja o mínimo possível. Recomenda-se repetir a calibração periodicamente durante a safra ou se for possível toda vez que mudar de variedade. Ressalta-se que a troca de cultura exige sempre uma nova calibração.

Diferentes métodos que aplicam sequências de filtros, que classificam, identificam e removem *outliers* espaciais, foram desenvolvidos. O *software MapFilter 2.0*, disponibilizado pelo LAP, é uma ferramenta para filtragem de dados coletados em alta densidade, que executa a filtragem espacial dos dados por meio de uma análise global dos dados e uma análise local isotrópica e anisotrópica levando em consideração os valores da vizinhança. Esse *software* de limpeza usa parâmetros estatísticos para classificar um dado ponto (dados espaciais) no conjunto de dados, levando em consideração seus vizinhos dentro de um raio (alcance). Juntamente com o conjunto de dados em formato texto ".txt" ou ".csv", dois parâmetros devem ser fornecidos pelo usuário como entrada para o modelo: a) o intervalo para pontos em torno de um raio e b) a variação máxima da mediana aceitável para um intervalo agrupado de pontos. O primeiro é usado para definir os vizinhos localizados no raio do entorno de um ponto, enquanto o segundo é o limite que determina quanto um ponto pode variar em relação aos seus vizinhos (Figura 5).

No cultivo da cana-de-açúcar e nas demais culturas perenes, ao contrário das culturas anuais, a colhedora corta e processa o produto colhido ao longo de uma única fileira ao longo dos anos. Assim, deve-se tomar muito cuidado com o processamento dos dados de produtividade adotando as metodologias utilizadas para outras culturas, pois podem levar à exclusão de dados com informações reais de variabilidade espacial den-



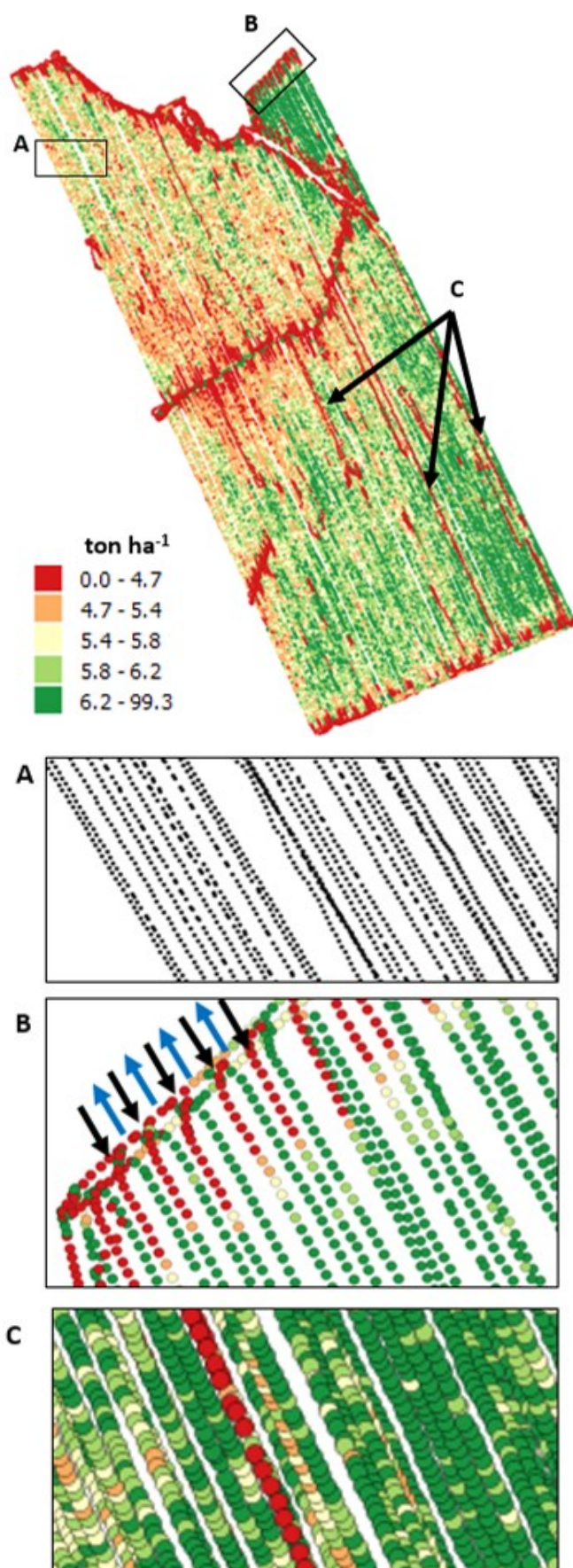


Figura 4. Erros encontrados em dados de produtividade de grãos; erro de posicionamento (A); erro de retardo e enchimento (B); erro de largura de plataforma (C)

tro da fileira. Mapas de produtividade de culturas perenes enfileiradas diferem das culturas anuais, pois podemos mapear e realizar a gestão com alta densidade de informações dentro de cada fileira, e até mesmo realizar a gestão planta a planta. Assim, por exemplo, a recomendação de adubação pode ser fundamentada na quantidade de nutrientes exportados na colheita, usando os dados em alta resolução dentro de uma única fileira, e juntamente com informações localizadas de cada planta, torna-se possível definir localizadamente a aplicação. Dessa forma, é plausível considerar a racionalização do uso de insumos, aplicando somente em locais onde há plantas, com as devidas doses localizadas, reduzindo custos e minimizando impactos ambientais negativos.

Uma das principais funções dos mapas de produtividade é auxiliar a recomendação de nutrientes de reposição baseado na exportação pela colheita (Figura 6) e aperfeiçoar as equações para recomendações de fertilizantes em taxas variáveis. Assim podemos gerar mapas de aplicação de reposição de nutrientes exportados pela cultura durante o seu ciclo, repondo no solo a quantidade de nutrientes retirados pela cultura. Um mapa de exportação de nutrientes é gerado pela multiplicação entre os valores de produtividade de cada pixel do mapa e a quantidade de nutriente extraído pela cultura, kg de nutriente por kg de produto colhido. Embora seja fácil de ser gerado, deve-se tomar muito cuidado na utilização dos valores de nutrientes extraídos pela cultura, pois estes valores podem variar conforme a cultura, solo, clima e região. A partir do mapa de exportação é gerado o mapa de aplicação, que leva em conta a quantidade do nutriente contido no fertilizante a ser aplicado, sendo este escolhido pelo produtor ou pelo responsável técnico.

Outra função dos mapas de produtividade é a identificação das unidades de gestão diferenciada (UGD) de cada lavoura. A abordagem usando UGD pode ser uma solução prática e operacional para a adoção da AP e estas podem ser interpretadas como regiões dentro dos campos de produção que apresentam mínima variabilidade espacial e temporal. A identificação dessas zonas garante a localização de limites mais precisos entre áreas distintas, permitindo que técnicas agrônomicas possam ser adotadas com facilidade e economia em ambientes semelhantes. As UGD são demarcadas normalmente a partir de mapas de fatores não antrópicos e permanentes da área, como parâmetros de solo e relevo, entre outros. No entanto, o acúmulo de mapas de produtividade ao longo dos anos tem sido o mais recomendado para identificar padrões de produtividade dentro da lavoura, possibilitando delimitar áreas de potenciais produtivos distintos. Quando identificadas essas regiões homogêneas,

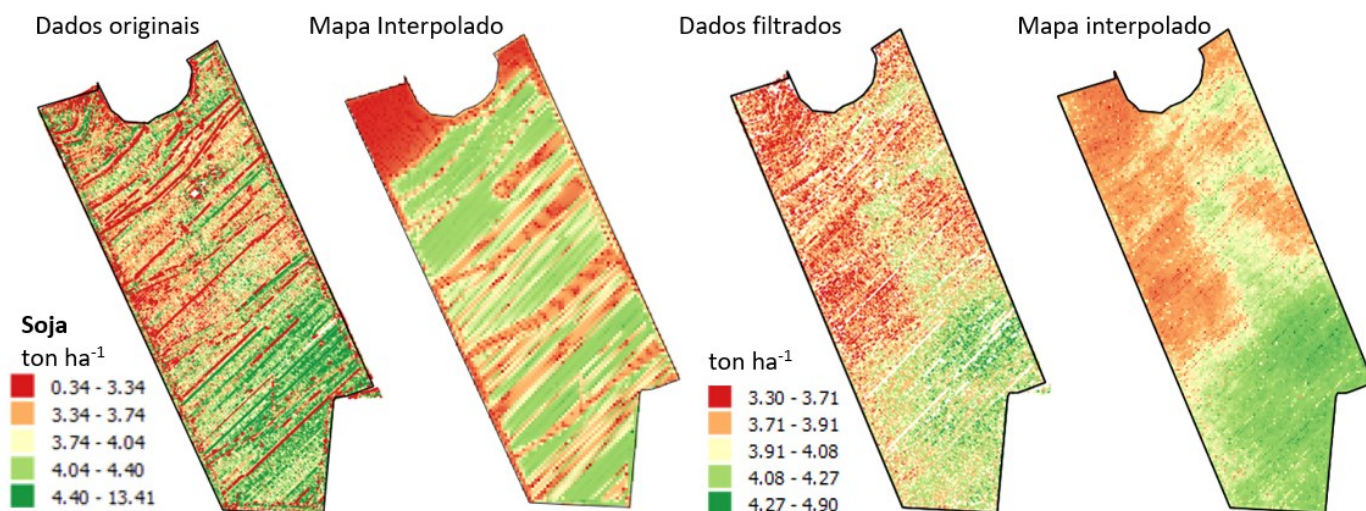


Figura 5. Dados de produtividade de soja originais e após a filtragem utilizando o software MapFilter 2.0

Download do software MapFilter 2.0: <http://agriculturadeprecisao.org.br/downloads.php>

espera-se uma produtividade semelhante internamente às mesmas.

Apesar da grande importância do uso dos mapas de produtividade, a adoção dessas informações ainda é baixa quando comparado às demais ferramentas de AP. Este fato pode ser explicado pela falta do conhecimento da utilização desta informação pelo usuário e pela dificuldade do

acesso aos arquivos gerados pelos monitores de produtividade. Para que a adoção do uso de mapas de produtividade se torne rotina no empreendimento agrícola, é necessário que os mapas sejam fidedignos com a realidade e que o acesso aos dados seja facilitado ao usuário.

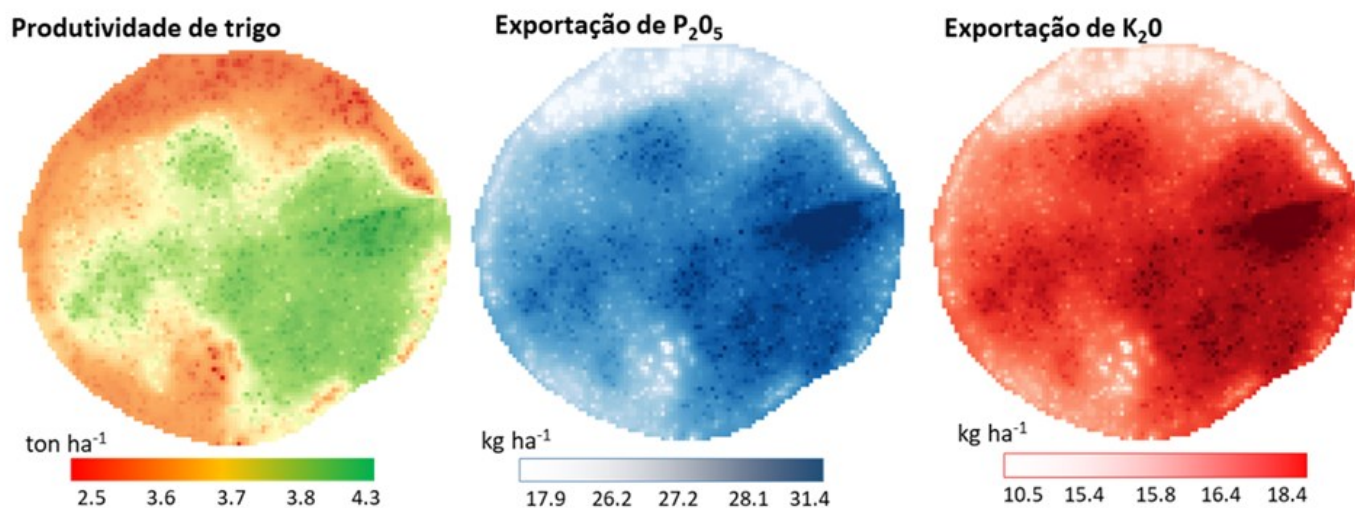


Figura 6. Mapas de nutrientes exportados gerados a partir do mapa de produtividade do trigo

Laboratório de Agricultura de Precisão  
Departamento de Engenharia de Biosistemas  
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"  
Universidade de São Paulo  
Av. Pádua Dias, 11 - CEP 13418-900  
Piracicaba - SP  
Fone: (19) 3747 - 8514

Visite nosso site:  
[www.agriculturadeprecisao.org.br](http://www.agriculturadeprecisao.org.br)