

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
Departamento de Engenharia Rural
0110601 - Estágio Profissionalizante em Engenharia Agrônômica



**OTIMIZAÇÃO DE PADRÕES DE TRABALHO PARA OPERAÇÕES
AGRÍCOLAS EM PARCELAS**

Mark Spekken
Nº USP 3749647
e-mail: mark_spekken@yahoo.com

Orientador: Prof. Dr José Paulo Molin

Novembro de 2008

OTIMIZAÇÃO DE PADRÕES DE TRABALHO PARA OPERAÇÕES AGRÍCOLAS EM PARCELAS

Mark Spekken, graduando em Engenharia Agrônômica, ESALQ-USP

RESUMO

A agricultura de larga escala estabeleceu-se com uso de máquinas na grande maioria das operações agrícolas. Estas operações, realizadas por conjuntos trator + implemento ou autopropelidos, ocorrem diversas vezes sobre a área do talhão a cada ciclo completo de uma cultura, seja esta anual, perene ou semi-perene.

Os crescentes custos econômicos e ambientais relacionados, tanto na obtenção de máquinas e equipamentos agrícolas como no uso das mesmas, acaba por demandar a maior eficiência possível para atividade em campo, ou seja, que o equipamento fique o maior tempo possível realizando a atividade para o qual foi projetado.

Um dos fatores que reduzem esta eficiência é o tempo gasto por equipamentos para realização de manobras de final de percurso em um talhão a para desvio dos obstáculos presentes no meio do mesmo. A quantidade das manobras de final de percurso está relacionada ao tamanho do talhão, ao seu formato. A escolha de direções corretas de trabalho em um talhão para realização da operação pode reduzir a quantidade de manobras. O objetivo deste projeto foi obter uma ferramenta que pudesse obter um percurso mais otimizado no que tange o número de manobras realizadas por um equipamento agrícola utilizando-se da forma do talhão e a envergadura do equipamento.

Este projeto utilizou parâmetros métricos de localização geográfica e largura do equipamento agrícola com conceitos de geometria e álgebra em um algoritmo programado para calcular novas localizações geográficas que representem a rota de trabalho de uma máquina em campo. Essas rotas são simuladas com diversas direções de trabalho procurando obter a direção mais eficiente. Os resultados encontrados permitem a visualização prévia do trabalho de máquinas em campo, encontrar estimativas mais acuradas de eficiência, sobreposição de operações e uso de produtos sobre uma área, e melhor rota de trabalho em campo para determinados padrões de trabalho.

Palavras-chave: máquinas agrícolas, eficiência de trabalho, sistemas de orientação.

1. INTRODUÇÃO

A mecanização tornou-se parte essencial da atividade agrícola em larga escala. O uso de tratores, implementos e equipamentos autopropelidos não apenas substituiu as tarefas repetitivas executadas manualmente como também tornou viável a exploração agrícola em diversas novas localidades ao redor do mundo.

O uso de máquinas não ocorreu apenas como uma nova opção de energia para operações agrícolas, mas também para obter maior acurácia na correta implantação das culturas agrícolas dentro do tempo adequado elevando as produtividades obtidas.

Diversas operações são requeridas durante o desenvolvimento de culturas agrícolas. Dependendo da cultura, as operações mais comuns são: cultivo, semeadura, fertilização, pulverização de pesticidas e colheita. Muitas culturas já contam com a totalidade de suas operações a serem realizadas por máquinas.

Tecnologias continuam a ser desenvolvidas visando elevar precisão, eficiência e manejo dos recursos necessários a produção agropecuária. O desenvolvimento de tecnologias voltadas para agricultura de precisão, principalmente com o advento de sistemas de posicionamento como o GPS (Global Positioning System), tem como objetivo orientar o uso de recursos de maneira mais eficiente possível. Tecnologias de orientação e direcionamento como RTK (Real Time Kinematic) permite o posicionamento de máquinas agrícolas em escalas sub-decimétricas. Recursos como sementes, fertilizantes e pesticidas são constantemente um alvo para uso racional na atividade agrícola, utilizando-se das inovações tecnológicas previamente citadas. Outro recurso que tem um impacto crescente na atividade é a própria mecanização.

Com o crescente custo dos recursos estruturais (metais) e energéticos (principalmente derivados de petróleo) ligados a fabricação e uso de máquinas, e com crescente conscientização dos impactos ambientais relevantes a exploração destes recursos, encontrar vias que permitam uma exploração mais racional nas atividades humanas é positivo e demandado.

A obtenção, a manutenção e uso de máquinas agrícolas tem um impacto econômico cada vez mais significativo para agricultores e fornecedores de serviços agrícolas.

O sistema mecanizado agrícola pode representar de 20 a 40% dos custos totais de produção (Milan, 2004). Deve-se buscar, portanto, o uso mais racional

possível de máquinas agrícolas visando sempre a maior eficiência das mesmas nas operações efetuadas a campo.

Em operações de campo uma máquina não está constantemente realizando o objetivo para o qual ela foi designada. Uma das razões disto é o tempo gasto com manobras de final de talhão e também com manobras para obstáculos presentes no meio do talhão. O número de manobras pode levar a uma perda considerável de tempo, atrasando o trabalho a ser realizado e demandando mais energia e máquinas para finalizar as operações no tempo requerido.

Talhões apresentam-se em diferentes formatos e tamanhos. Quando estes apresentam-se grandes e/ou com formato retangular, ou próximo a isto, o número de manobras requeridas por unidade de área é menor, porém, com pequena dimensão e/ou com formatos irregulares maior a quantidade de manobras indesejadas e o tempo para as mesmas é maior por unidade de área podendo ser altamente significativo.

Geralmente após algum tempo de experiência de trabalho, agricultores estabelecem um padrão contínuo de trabalho, geralmente iniciando a operação a partir da maior borda retilínea de um talhão. Porém a grande irregularidade de alguns talhões e, algumas vezes, o pequeno tempo e conhecimento que tomadores de decisão neste ramo tem de suas parcelas, torna difícil (e muitas vezes errônea) a escolha de um padrão de trabalho.

O número de manobras realizadas em um dado talhão pode ser reduzido com a escolha de uma correta orientação da direção de trabalho de um equipamento agrícola.

No Brasil limitações relevantes ao tamanho são menores do que nas condições holandesas, onde esta proposta de trabalho será efetuada. Porém, mesmo no Brasil, os fatores de relevo, as delimitações hidrográficas e de áreas de preservação podem não seguir padrões lineares e influenciam consideravelmente a dimensão e formato dos talhões. O uso de terraços para conter erosões, na grande maioria dos casos, não segue padrões de formato retangular e podem não ser transponíveis por máquinas nas requeridas operações, criando várias parcelas pequenas e irregulares.

Mapeamento de talhões e parcelas com uso de receptores de GPS e Sistemas de Informação Geográfica tornou-se fácil e barato, assim também provendo informações necessárias para análises espaciais.

O avanço no uso de sistemas de orientação e direcionamento de máquinas já permitem planejar e definir previamente a correta disposição de uma cultura em campo de maneira confiável a partir de um mapa, e tem popularidade crescente no meio agrícola. Portanto a escolha de uma rota correta para reduzir a quantidade de tempo requerido em manobras indesejadas tem impacto na velocidade e no consumo de energia das operações agrícolas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os fatores que influenciam no padrão de trabalho em campo assim como alguns algoritmos de planejamento de percurso já são estudados.

2.1 – Fatores que influenciam no padrão de trabalho em campo

Stoll (2003) estudando planejamento de rotas de trabalho em talhões agrícolas identificou os seguintes fatores a serem considerados: estratégia de operação, áreas vizinhas, geometria do talhão, dados específicos do talhão, dados específicos do equipamento/máquina, e declive. Estratégia de operação está ligado ao parâmetro que se busca otimizar, este parâmetro pode ser menor sobreposição do equipamento sobre o campo, menor número de manobras, menor distância percorrida, etc. Áreas vizinhas são afetadas em caso de manobras com equipamentos de grande envergadura (como aplicadores de defensivos) que podem estender-se nestas áreas. Geometria do talhão é o fator que mais influencia na decisão de uma rota no que tange eficiência, talhões retangulares permitem fácil definição da melhor rota enquanto talhões de formato complexo tornam esta tarefa mais difícil. Dados específicos do talhão estão ligados a borda (ou cabeceira) do talhão e aos obstáculos presentes.

Em terrenos declivosos a correta orientação na implantação das culturas ajuda a conter o processo erosivo. Stoll (2003) citou este parâmetro mas não o levou em consideração em seus estudos.

Lagerberg (2007), com uso de modelagem e funções bidimensionais para tratores totalmente robotizados obteve, como parâmetros para definir uma rota de trabalho: eficácia, que a rota inicie e finalize seu trabalho em campo; eficiência, que a rota seja realizada no menor tempo possível e; livre de colisões.

2.2 Planejamento de operações agrícolas

Oksanen (2007) observou que fornecedores de serviço experientes conseguem encontrar as melhores direções de trabalho, no que tange a eficiência, apenas por uma análise visual do mapa do talhão; mas que há muitos que não possuem um senso tão apurado para tal, abrindo espaço para uma assistência computacional para planejamento da rota de trabalho. O mesmo autor trabalhou em algoritmos para obtenção de rotas ótimas de trabalho levando em consideração a

irregularidade de talhões, que tem grande influência nas áreas agrícolas finlandesas, além de sua pequena dimensão. Ele descreve dois algoritmos denominados como: estratégia divisiva e agregante e estratégia preditiva e recursiva.

Na estratégia divisiva e agregante é realizada, inicialmente, uma divisão trapezoidal de um talhão em várias sub-parcelas e posterior união das sub-parcelas originadas que possuam propriedades para tal (Split and Merge approach). A divisão geralmente acaba por criar um número excessivo de sub-talhões e, portanto, estes são unidos por propriedades como lados (bordas) em comum e estabelecimento do melhor percurso vai-e-vem retilíneo medindo a similaridade dos ângulos (ou direções) de trabalho formados entre sub-talhões vizinhos. Um exemplo prático desta estratégia pode ser observado na Figura 1:

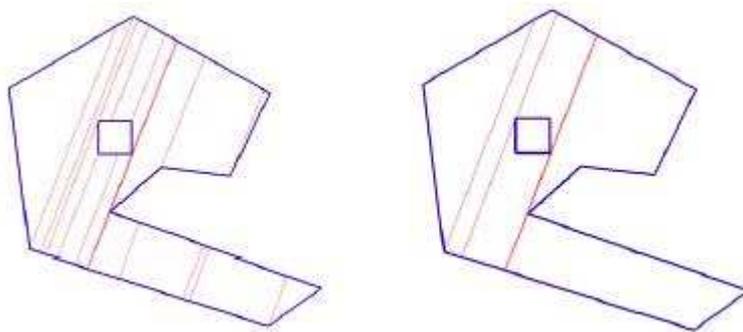


Figura 1. Exemplo formação de sub-talhões a partir da estratégia de divisão trapezoidal e união por propriedades semelhantes (Extraído de Oksanen, 2007)

Na Figura 1, o talhão à esquerda é subdividido linearmente a partir de todos os pontos que o compõem, criando uma grande quantidade de subtalhões. Os procedimentos de similaridade de lados e padrão equivalente de trabalho unem subtalhões possuem propriedades diferentes, gerando o talhão subdividido à direita que possuem propriedades semelhantes para percurso de trabalho.

A melhor rota retilínea para um sub-talhão é encontrada a partir de simulações de ângulos (0 a 179 graus) de direção de trabalho sempre preenchendo toda a parcela.

A eficiência global da melhor rota leva em consideração fatores como variância na distâncias de percursos retilíneos, área formada dos sub-talhões e tempo de manobras.

O outro algoritmo é para padrões curvos de trabalho e usando estratégia preditiva e recursiva, busca criar rotas de trabalho seguindo as bordas de um talhão de ponto-a-ponto como na sequência $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ da Figura 2:

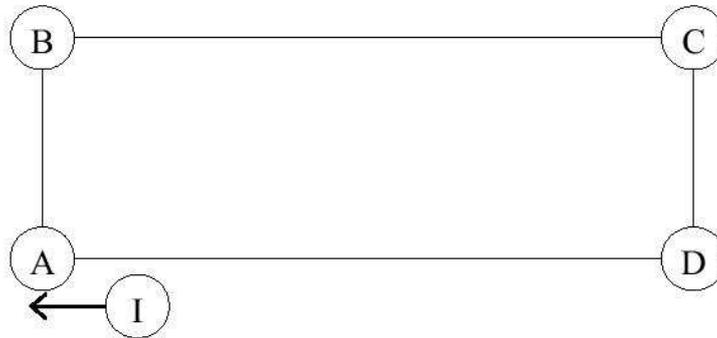


Figura 2. Exemplo de talhão simples onde o equipamento (I) efetua o percurso seguindo as bordas buscando o próximo ponto (Extraído de Oksanen, 2007)

Este algoritmo consegue encontrar rotas não-retilíneas para um talhão, porém o processamento requerido é maior devido ao maior número de verificações e segmentos criados, além de não levar em consideração fatores como sobreposição e subposição pelo equipamento.

Outro algoritmo criado por Jin e Tang (2006) procura por decomposição ótima de talhões e padrão retilíneo de trabalho em campo, levando em consideração obstáculos em campo.

Um processo recursivo é aplicado e a cada simulação e custos são computados. Cada simulação cria uma divisão no talhão, como nenhuma divisão, e a(s) melhor(es) direção(ões) de trabalho são estabelecidas pelo custo envolvido. O número de divisões no talhão é limitado ao ponto em que não há mais redução em custos. A prioridade é não dividir mais do que o necessário, ou não dividir, buscando a solução global ótima de eficiência de trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dos protótipos foram utilizadas pastas de trabalho do Microsoft Excel® versão 2003. O software possui, além de uma interface conhecida e de fácil uso, recursos para programação em linguagem Visual Basic® através de Macros. Macros são módulos de algoritmo que possuem as mesmas propriedades básicas comuns a linguagens de programação podendo utilizar dados presentes em uma planilha de trabalho, processá-los e retornar novos valores para a mesma; assim como também utilizar os recursos gráficos do software, que foram utilizados neste trabalho para exibição dos resultados.

Para a descrição de materiais e métodos foram utilizadas ilustrações baseadas em resultados prévios de módulos. Estes resultados não possuem qualquer detalhe a respeito de parâmetros utilizados para os cálculos (como coordenadas ou largura do equipamento), as ilustrações que seguem nesta seção servem apenas para auxiliar a entender o funcionamento do algoritmo e não devem ser interpretados como resultado.

3.1. A vetorização dos dados

Os protótipos utilizaram coordenadas cartesianas de talhões, fornecidos em exata sequencia de delimitação de talhões e em escala métrica.

Uma coordenada definida por localização X e Y em um plano cartesiano pode ser visualizada com um ponto adimensional em um plano de 2 dimensões. Porém, um ponto não possui qualquer propriedade além de sua localização; a sequencia destes pontos podem, se trabalhados, fornecer mais informações a respeito de onde estes se encontram ou o que estes delimitam.

Entre dois pontos, uma reta pode ser definida e mais propriedades podem ser extraídas. Temos a Figura 3:

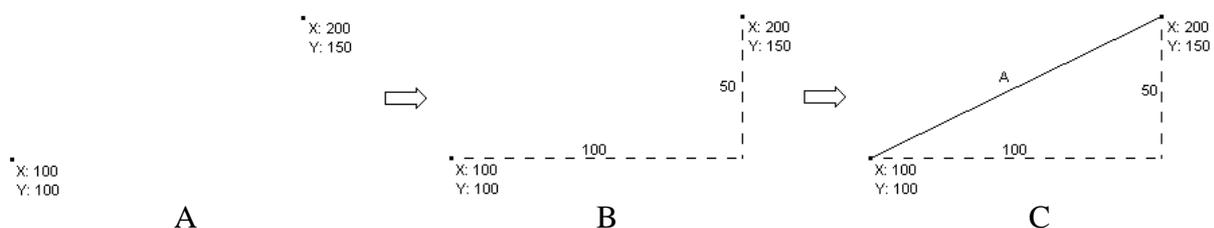


Figura 3. Obtenção de uma reta A a partir de dois pontos de localização definida

Informações que podem ser extraídas da reta A:

- O comprimento, que pode ser calculado por Pitágoras. Neste caso, o comprimento será de aprox. 111,8m, que representa a distância entre os dois pontos.
- Trata-se também de uma função de primeiro grau " $y = ax + b$ ". O valor de "a" da equação neste caso pode ser definido pela divisão da distância vertical pela distância horizontal, neste caso " a " = 0.5. O valor de "b" pode ser encontrado subtraindo-se o a localização Y de um ponto pela multiplicação da localização de X com o valor "a", neste caso " b " = 50.

Para os cálculos no algoritmo, todos os pontos de delimitação foram ligados dois a dois obtendo-se retas, estas retas possuem as propriedades acima descritas: distância e os componentes de uma função de 1º grau. Esses dados são armazenados em matrizes numéricas para os cálculos de novos pontos e retas.

3.2. Os três principais procedimentos do algoritmo

Uma vez calculadas as propriedades entre retas, dois principais procedimentos foram desenvolvidos para se obter novas retas e para obter os limites destas.

3.2.1. Obtenção de função paralela

Uma nova função (ou reta) paralela possui o mesmo coeficiente "a" de sua reta original, a diferença encontra-se no ponto de origem da nova função para que a nova reta seja paralela a uma distância que represente a largura efetiva de um equipamento agrícola sobre um talhão.

O cálculo para obtenção da nova função pode ser observado na Figura 4:

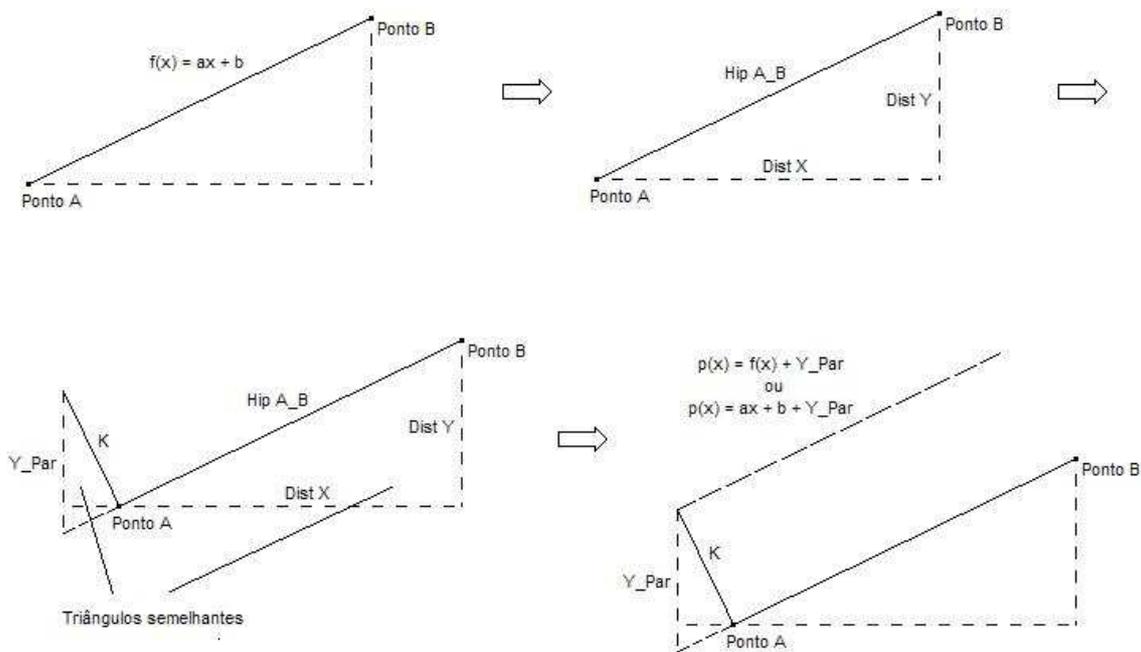


Figura 4. Etapas para obtenção de uma nova função paralela ($p(x)$) a partir de uma função inicial ($f(x)$) definida por pontos A e B.

Observando a Figura 4, o valor de “Y_Par” é calculado pela Equação 1:

$$\frac{Dist\ X}{Hip\ A_B} = \frac{K}{Y_Par} \rightarrow Y_Par = \frac{K * Hip\ A_B}{Dist\ X}$$

Equação 1. As variáveis Dist_X, K, Y_Par e Hip A_B podem ser observadas na Figura 4. E “K” representa a largura do equipamento a ser simulado no talhão.

3.2.2. Obtenção de uma função oposta

A função oposta é obtida pelo cálculo de um coeficiente “a” que leve a uma função a uma direção oposta a uma dada função. O cálculo deste coeficiente oposto é feito:

$$Coeficiente\ oposto = \frac{-1}{Coeficiente\ fornecido}$$

Equação 2. Para cálculo de um coeficiente oposto a outro coeficiente fornecido de uma dada função.

A função oposta pode ser obtida quando a partir de um dado ponto XY o valor Y é subtraído da multiplicação de X com o coeficiente oposto, obtendo-se o coeficiente “b” da nova função. Esse procedimento é utilizado para obtenção de distância entre novos pontos e retas.

3.2.3. Obtenção de intersecção entre funções

A intersecção entre duas funções é obtida ao igualá-las. Como pode ser visto na Figura 5.

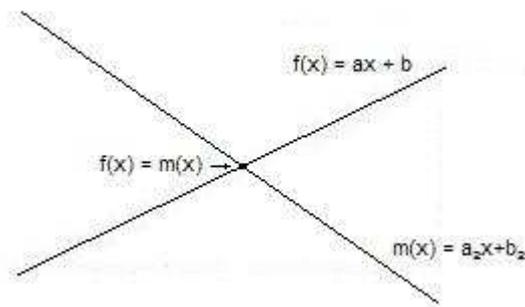


Figura 5. Obtenção de um ponto de intersecção entre duas funções.

O resultado desta intersecção é a localização X de uma coordenada. Se este valor X for atribuído a qualquer uma das funções da intersecção, a localização Y da também será encontrada, obtendo-se a coordenada (ou ponto) de intersecção.

3.3. Agregando os procedimentos

A partir dos dados vetorizados e dos três procedimentos anteriormente citados, módulos mais complexos foram desenvolvidos. Estes são: A definição de cabeceiras, a obtenção da direção mais eficiente de trabalho em um talhão e a divisão do talhão para cálculo de eficiência usando mais de uma direção de trabalho.

3.3.1. A definição de cabeceiras

Este módulo cria uma reta paralela a uma distância definida, pelo usuário, de cabeceira. Esta é aplicada a todas as bordas do talhão e dos obstáculos.

Em uma primeira correção, estas retas que estão internas ao talhão, são limitadas por intersecções entre as próprias retas de cabeceira, de forma que

acabem criando um novo “talhão” interno aos limites. De uma forma inversa, obstáculos presentes no talhão criam uma cabeceira externa aos limites destes.

Porém uma segunda correção é necessária devido a sobreposição de áreas de cabeceira, assim, alguns novos pontos criados que se encontram dentro do “buffer” (ou cabeceira) devem ser excluídos. A distância entre os pontos criados e as bordas do talhão é medida usando o procedimento de função oposta, que fornece a mínima distância entre pontos e retas. Se esta distância encontrada for menor que a distância definida de cabeceira, o ponto é excluído.

A Figura 6 ilustra como são definidas e corrigidas as coordenadas da cabeceira.

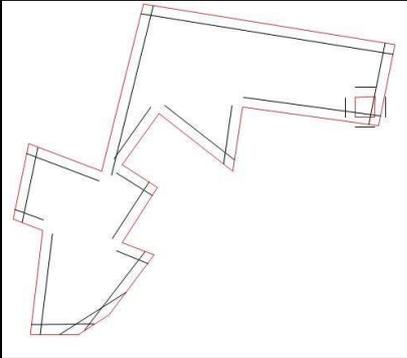
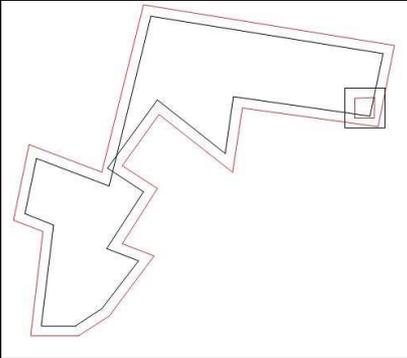
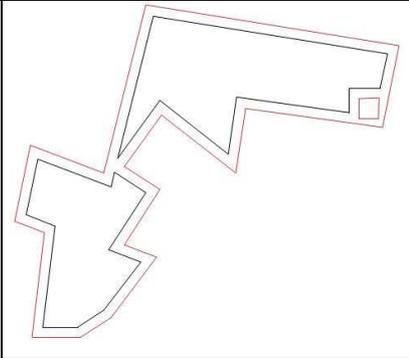
		
<p>1. Retas paralelas e internas às bordas de um talhão são criadas e externamente à de um obstáculo.</p>	<p>2. As retas são unidas utilizando-se de intersecção entre as funções-reta.</p>	<p>3. Após a exclusão de pontos que se encontram fora da distância mínima de cabeceira.</p>

Figura 6. Etapas de definição de uma cabeceiras. Observa-se que o talhão é subdividido pois cabeceiras se sobrepõem.

O módulo de cabeceiras pertime a criação de múltiplas cabeceiras, caso haja necessidade-escolha de mais de uma passada do equipamento na bordadura. Este pode até mesmo efetuar o trabalho em todo o talhão de forma circular. Apesar dos resultados satisfatórios encontrados para percursos circulares, não foi priorizado neste projeto qualquer avanço em obter mais resultados neste escopo.

3.3.2. A obtenção da direção mais eficiente de trabalho

As simulações de direções de trabalho em um talhão foram realizadas utilizando-se as funções que foram obtidas para as bordas dos talhões. Um

coeficiente correspondente a um ângulo define a direção de trabalho e sequências de retas paralelas são criadas internamente no talhão baseadas neste ângulo.

As verificações dos limites destas retas é feito através de intersecção entre a função que define a reta paralela de trabalho e as funções que definem os limites do talhão ou do obstáculo.

O talhão é preenchido com as retas paralelas até o momento em que o algoritmo não consiga mais encontrar intersecção com bordas, significando que todo o talhão já foi preenchido.

Se o ângulo de direção de trabalho não é fornecido, esse procedimento é repetido até que todas as direções correspondentes a todas as bordas de um talhão e do obstáculo tenham sido simuladas, ou seja, para um talhão que possua 5 bordas retilíneas esse procedimento preencheria o talhão 5 vezes com retas paralelas, cada uma destas simulações utilizaria uma direção diferente correspondente a uma das bordas. Uma ilustração deste procedimento pode ser melhor visualizada na Figura 7:

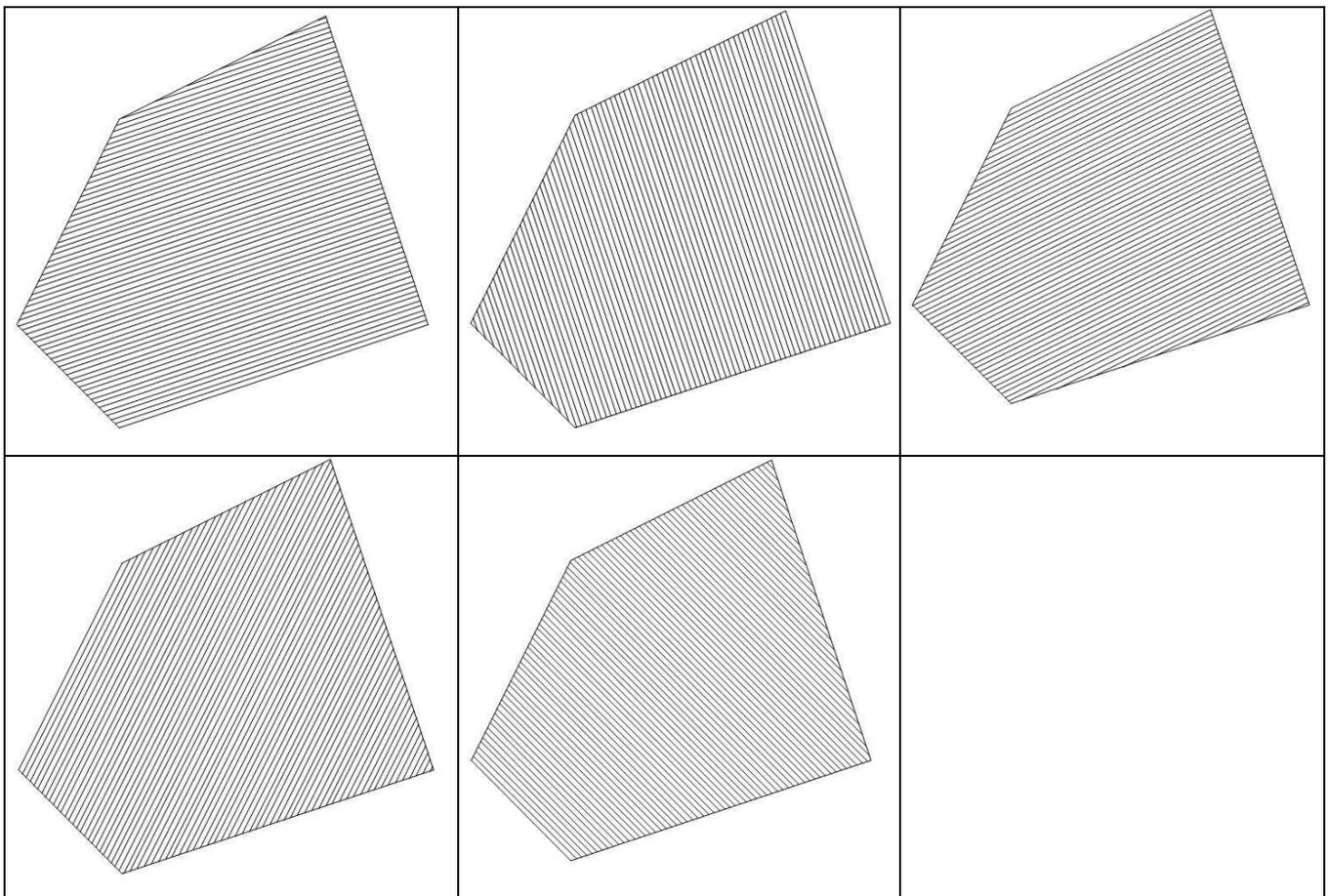


Figura 7. Exemplo de simulações efetuadas em busca da melhor direção de trabalho para um talhão de 5 bordas retilíneas.

Em condições práticas, talhões possuem uma quantidade maior de bordas retilíneas e, conseqüentemente, maior número de simulações. Portanto, o módulo efetua a contagem do número de manobras efetuado pelo equipamento no talhão para cada simulação, porém não exibe cada simulação devido ao consumo em processamento gráfico. Apenas simulação com a menor contagem, ou seja, com a rota mais eficiente, é exibida no final do processamento.

Caso o ângulo de direção de trabalho seja fornecido, apenas esta direção será simulada, permitindo que sejam feitas simulações até mesmo para direções que não correspondam a qualquer uma das bordas do talhão.

A soma das distâncias para cada reta-paralela criada é acumulada obtendo-se o comprimento total de trabalho no talhão (ignorando-se as cabeceiras).

3.3.3. Divisão do talhão para cálculo de eficiência usando mais de uma direção de trabalho

O uso de mais de uma direção de trabalho em um talhão para fins de maior rendimento operacional, é sugerido em casos de talhões irregulares. Essa irregularidade deve ser suficiente para compensar a mudança de direção, uma vez que esta leva a maior sobreposição e a manobras dentro do talhão.

3.3.3.1 A localização de pontos côncavos

Como visto anteriormente, no software, um talhão é composto de pontos que o delimitam. As irregularidades são geradas por pontos côncavos, ou seja, que se localizam “dentro” do talhão criando irregularidades neste estes são selecionados como origem para criar as divisões.

A localização de pontos côncavos pelo software é feita gerando-se uma cabeceira externa ao talhão. Para o ponto é feita a verificação da união em linha do ponto anterior e posterior a este, se nesta linha houver intersecção com o cabeceira externa, o ponto em questão é definido como côncavo. Um exemplo do procedimento pode ser visto na Figura 8.

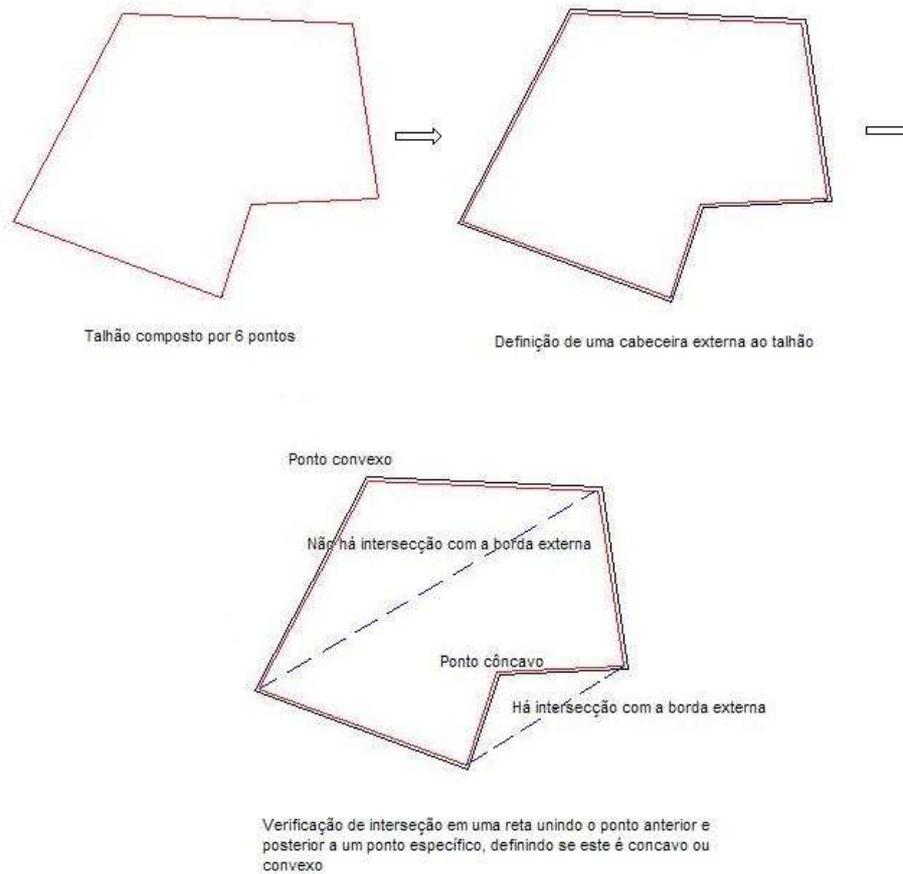


Figura 8. Procedimento para localização de pontos côncavos em um talhão

3.3.4. Simulações de opções de divisão do talhão

Uma vez encontrados pontos côncavos, a divisão a é feita simulando-se as direções de bordas do talhão a partir de cada ponto. Cada direção cria uma divisão no talhão. Um exemplo de simulações de divisões a partir de um ponto côncavo pode ser observado na Figura 9.

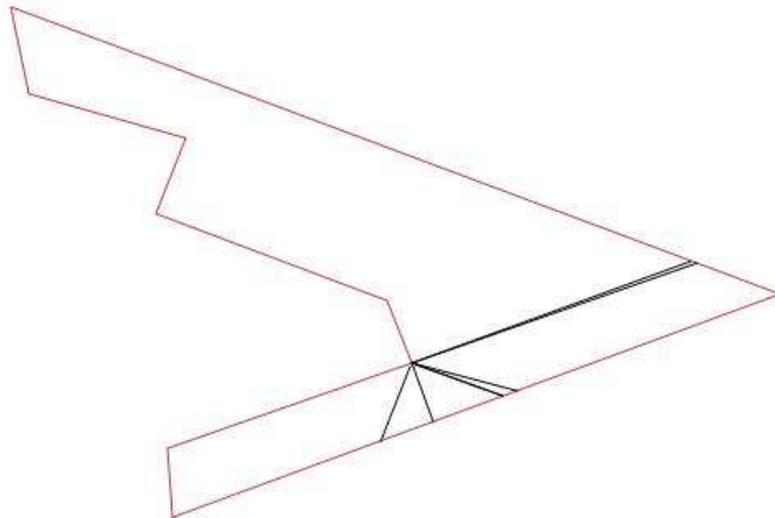


Figura 9. Simulações de possíveis divisões no talhão a partir de um ponto côncavo. Todas as direções das bordas do talhão são simuladas.

Para cada opção de divisão o talhão é subdividido e então o módulo de melhor única direção é aplicado para cada uma das sub-parcelas criadas.

Neste projeto não houve tempo de finalizar este módulo para calcular todos os parâmetros resultantes da divisão, apesar de simulações serem efetuadas, elas estão restritas a construir os cenários para uma divisão, porém ainda não para simulá-los ou selecioná-los.

4. RESULTADOS

4.1. Percursos retilíneos em uma única direção de trabalho sobre um talhão

Na Figura 10 é apresentado o exemplo de um talhão de contorno considerado simples.

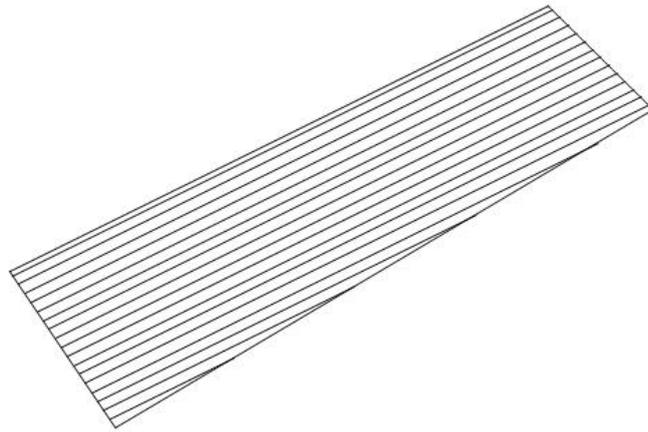


Figura 10. Melhor percurso de trabalho encontrado para um talhão fictício simples.

No caso de obstáculos, se inseridos em talhões, são considerados na contagem do número de manobras efetuadas e afetam na determinação da melhor direção de trabalho.

Alguns exemplos podem ser observados:

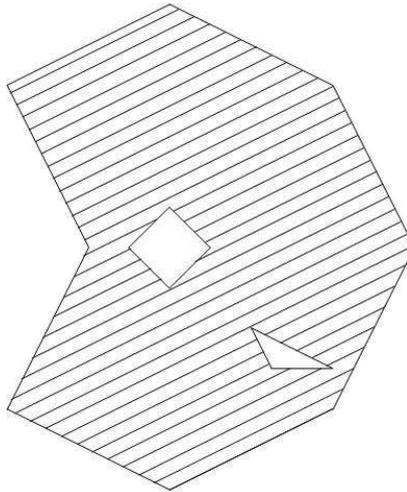


Figura 11. Talhão contendo obstáculos, ambos fictícios, para avaliação do algoritmo em considerar obstáculos na obtenção do percurso.

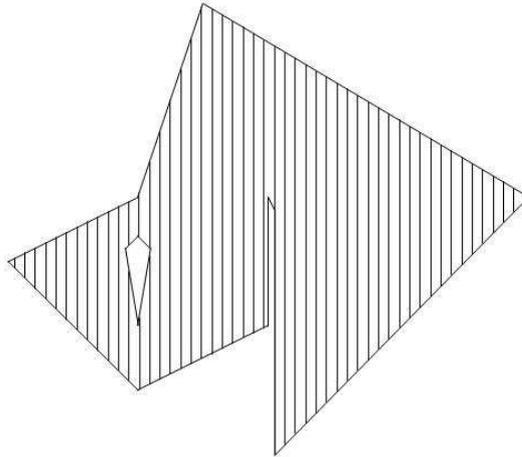


Figura 12. Talhão irregular contendo um obstáculo e uma concavidade representando um canal ou valeta, todos fictícios. A presença destes influi na determinação do percurso ótimo a ser realizado por um equipamento.

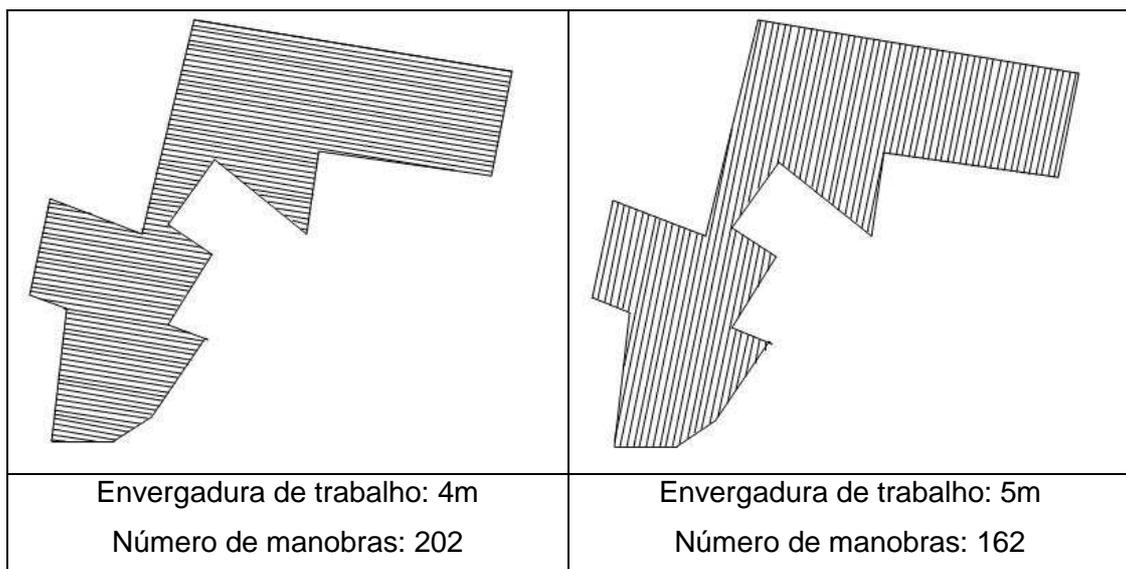


Figura 13. Melhor percurso em uma só direção de trabalho encontrado para um talhão real para duas envergaduras de trabalho.

No caso de talhões com contorno irregular como observado na Figura 13, pode-se observar que a escolha da ótima direção de trabalho não é óbvia uma vez que a estratégia mais utilizada por operadores/agricultores é a borda mais comprida do talhão. E essa direção de trabalho não depende unicamente do talhão, porém também da largura do equipamento.

4.2 – Resultados encontrados para determinação de cabeceiras em talhões.

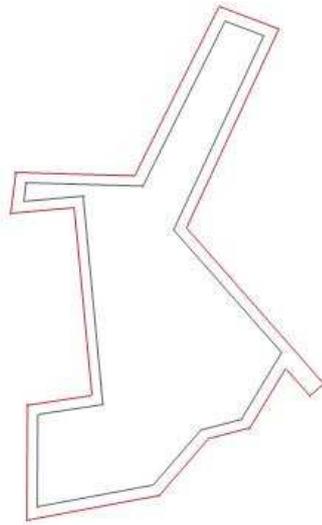


Figura 14. Cabeceira de 10m de largura obtida a partir de um talhão real, a área total do talhão é de 5,5ha e a área de cabeceira, 1,43ha.

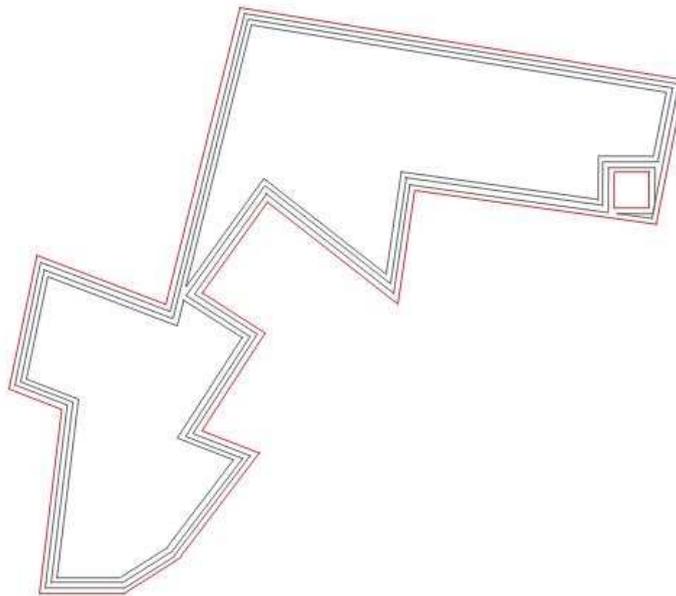


Figura 15. Múltiplas cabeceiras obtidas para um talhão real, quando as cabeceiras ligam-se a cabeceiras de lados opostos sub-talhões são obtidos. Cada cabeceira possui 3m de largura.

4.3. Resultados encontrados para percursos com mais de uma direção de trabalho.

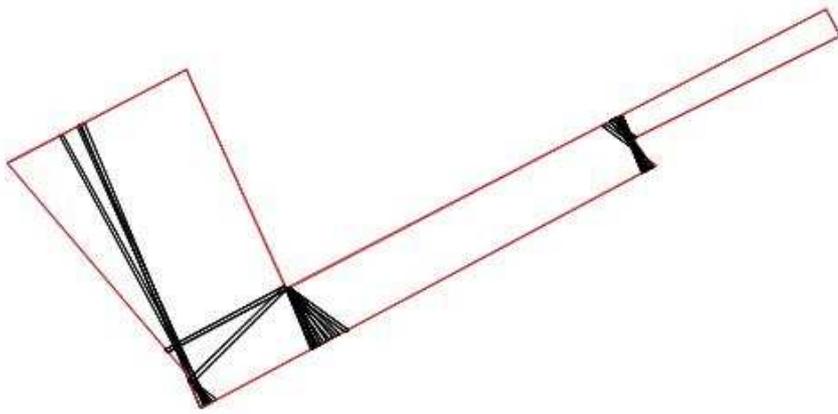
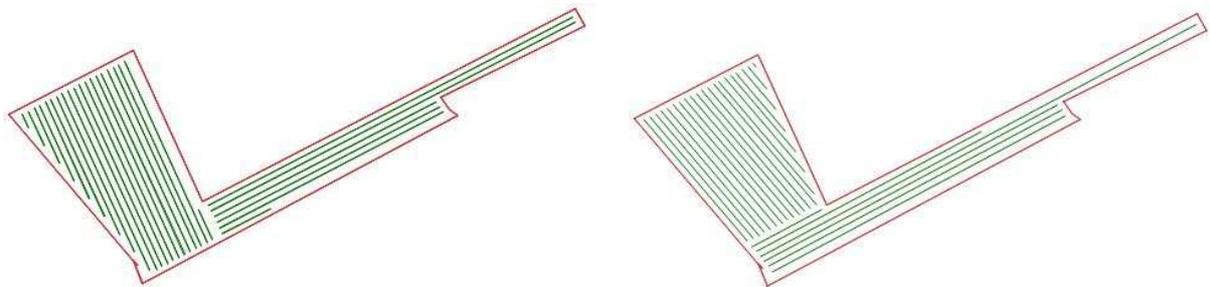


Figura 16. Opções de divisão de um talhão real para obtenção de diferentes percursos. Um total de 17 opções são calculadas.



Número de manobras: 48

Número de manobras: 48

Figura 17. Resultados de obtidos selecionando-se duas simulações com 1 divisão no talhão e uma cabeceira de 5m, com mudança de direção de trabalho para se obter um percurso mais eficiente.

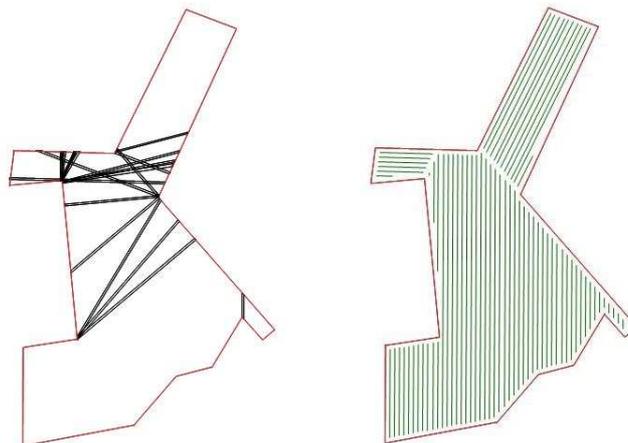


Figura 18. Resultado obtido pela seleção de duas opções de divisão em um talhão real com uma cabeceira de 5m, levando a um total de 138 manobras, em um melhor percurso em uma única direção, seriam 146 manobras.

Não houve tempo para finalização de cálculo de parâmetros para divisão de talhões (como tempo de manobra ou área de cabeceira), o que ainda torna difícil calcular parâmetros que justifiquem a mudança de direção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os protótipos obtidos permitem simular a atividade de um equipamento agrícola em campo, por retornar valores métricos de localização geográfica, também permitem obter distância total de percurso e, a partir deste obter diversos parâmetros para otimização do trabalho como tempo de trabalho para o talhão, eficiência de trabalho, sobreposição em cabeceiras, área de cabeceiras, entre outros. Assim como a direção de trabalho mais eficiente em relação a manobras realizadas pelo equipamento agrícola.

Os algoritmos demonstram ser uma ferramenta útil no planejamento e antecipação de operações agrícolas em campo, partido de parâmetros simples a serem fornecidos, e também encontram sua aplicação na perspectiva futura de uso de equipamentos robôs.

6. LITERATURA CITADA:

JIN ,J. e TANG, L. (2006). "Optimal path planning for arable farming." 2006 ASABE Annual International Meeting, Portland, Oregon, American Society of Agricultural Engineers.

MILAN, M. Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas. 2004. 100 f. Tese (Livre-Docência em Mecânica e Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

LAGERBERG, J. "Pad planning voor mobiele robots". Resultados apresentados em aula. Acessado em 27 de Abril de 2008. Disponível em: staff.science.uva.nl/~jose/robótica/pad.pdf.

OKSANEN, TIMO. Path planning algorithms for agricultural field machines. Helsinki University of Technology Automation Technology Laboratory. Series A:

Research Reports No. 31. Espoo, December 2007. Disponível em:
<http://lib.tkk.fi/Diss/2007/isbn9789512290802/>. Acessado em: 5 de Maio de 2008.

STOLL, A. "Automatic operation planning for GPS-guided machinery". Precision agriculture. J. Stafford, Werner, A. Wageningen, Wageningen Publicação acadêmica: 657-664.