



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**



DIEGO GROSMANN

**PERCORRIMENTO ÓTIMO DE ÁREAS AGRÍCOLAS
APLICANDO METAHEURÍSTICAS E SUA
IMPLEMENTAÇÃO ATRAVÉS DO SISTEMA DE
OTIMIZAÇÃO DE COLHEITAS AGRÍCOLAS – SEO-AGRI**

**Mossoró – RN
2013**

DIEGO GROSMANN

**PERCORRIMENTO ÓTIMO DE ÁREAS AGRÍCOLAS
APLICANDO METAHEURÍSTICAS E SUA
IMPLEMENTAÇÃO ATRAVÉS DO SISTEMA DE
OTIMIZAÇÃO DE COLHEITAS AGRÍCOLAS – SEO-AGRI**

Trabalho de Dissertação para a defesa de título de Mestre em Ciência da Computação pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte/ Universidade Federal Rural do Semiárido (UERN/UFERSA).

Orientador: D.Sc. Marcelino Pereira Dos Santos Silva

Mossoró - RN
2013

**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Grosmann, Diego

Percorrimento Ótimo de Áreas Agrícolas Aplicando Metaheurísticas e Sua Implementação Através do Sistema de Otimização de Colheitas Agrícolas — SEO-AGRI. / Diego Grosmann. – Mossoró, RN, 2013.

65f.

Orientador: Prof. D.Sc. Marcelino Pereira Dos Santos Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação

1. Sensoriamento Remoto na Agricultura. 2. TerraView. 3. Agricultura de Precisão. 4. Otimização Agrícola. I. Silva, Marcelino Pereira Dos Santos . II. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. IV. Título.

UERN/BC

CDD 005.3

Diego Grosmann

Percorrimento Ótimo de Áreas Agrícolas Aplicando Metaheurísticas e sua Implementação
Através do Sistema de Otimização de Colheitas Agrícolas – SEO-Agri

Trabalho de Dissertação para a defesa de título de Mestre em Ciência da Computação
(MCC) pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte/ Universidade Federal do Semi-
árido (UERN/UFERSA).

Aprovado em 03/ maio / 2012.



Orientador

D.Sc. Marcelino Pereira Dos Santos Silva

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)



Membro Externo

D. Sc. Gustavo Augusto Lima de Campos

Universidade Estadual do Ceará (UECE)



Membro Interno

D. Sc. Francisco Chagas Lima Júnior

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

A minha formação como profissional não poderia ter sido concretizada sem a ajuda de meus pais Nadir e Alcidio Grosman, que, no decorrer da minha vida, proporcionaram-me além de muito carinho e amor, os conhecimentos da integridade, da perseverança e de procurar sempre em Deus à força maior para o meu desenvolvimento como ser humano. Por essa razão, gostaria de dedicar e reconhecer à vocês, minha imensa gratidão e sempre amor.

À Deus, dedico o meu agradecimento maior, porque têm sido tudo em minha vida.

Um agradecimento especial aos meus queridos amigos Rangel, Aldir, Rogério e Marquinhos, que permaneceram sempre ao meu lado, nos bons e maus momentos; ao meu querido amor Vivian, que além de me fazer feliz, ajudou-me, no desenvolvimento deste trabalho.

A todos, meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela bolsa de Mestrado concedida.

Ao Instituto Federal do Maranhão pela liberação para as viagens necessárias a realização deste trabalho.

Ao meu Prof. D.Sc. Marcelino Pereira Dos Santos Silva, pela orientação, apoio as minhas decisões, e seu grande desprendimento em ajudar-nos e amizade sincera.

Ao Prof. D. Sc. Francisco Chagas Lima Júnior, pela ajuda na definição deste trabalho e no desenvolvimento dos modelos matemáticos.

Ao Prof. D. Sc. Paulo Cesar Moura, pela ajuda com o tratamento de imagens de sensoriamento remoto e uso do TerraView.

A Prof. D. Sc. Angélica Félix de Castro, pela disciplina lecionada e pelas duvidas tiradas sobre SIGs.

A Prof. Vivian Maria Barbosa Saraiva Cipriano, pela ajuda no desenvolvimento dos modelos matemáticos.

A todos os especialistas consultados pela disponibilidade e gentiliza ao responder as perguntas.

A todos os professores que fizeram parte da minha vida acadêmica possibilitando que eu chegasse até aqui.

RESUMO

A população mundial está crescendo, e com ela a demanda por alimentos. A preocupação com o crescimento sustentável está cada vez mais evidente na sociedade, não havendo mais espaço para o desperdício. Para conseguir alimentar de forma digna toda a população mundial, a perda de alimentos deve ser minimizada desde sua produção na lavoura até o seu preparo e consumo pela população. Neste contexto, essa dissertação apresenta uma metodologia e sua implementação em software para minimizar a perda gerada pela colheita em momento inadequado. A soja é uma das plantas mais cultivadas no mundo, de cujos grãos produz-se óleo e o que sobra (farelo) é usado como ração animal. Ainda pode-se processá-la para gerar leite e carne de soja. Esse alimento tão importante sofre grandes perdas se colhido em momento inadequado. A metodologia desenvolvida e implementada em software propõe-se a apresentar uma sequência ótima para a colheita da soja de modo a minimizar o seu desperdício. Com o número de soluções possíveis sendo exponencial ao número de entidades envolvidas numa busca em todo o escopo de soluções e, por isso inviável, utilizou-se metaheurísticas que apresentam soluções de ótima qualidade em um tempo razoável. Comparou-se as soluções geradas pelo software com as informadas por especialistas. O avanço obtido proporciona reduções no desperdício, na necessidade de abertura de novas áreas, no custo dos alimentos, gerando aumento da lucratividade do produtor, e conseqüentemente, melhor acesso a alimentos pela população.

ABSTRACT

The world population is growing and with it the demand for food also grows. The concern with sustainable growth is increasingly evident in society. There is no more space for waste. To feed the entire world population in a dignified manner, food loss should be minimized since its production in the plantation until its preparation and consumption by the population. In this context, this dissertation presents a methodology and its implementation in software to minimize the loss generated by the harvest in wrong time. Soy is one of the most cultivated plants in the world, its grains produce oil and what remains (soy bran) is used as animal feed. We can also process soy to produce milk and meat. This so important plant suffers major losses if harvested at the wrong time. The methodology developed and implemented in software proposes to present an optimal sequence for soybean harvest to minimize its waste. The number of possible solutions is exponential to the number of entities involved in a search throughout the solutions scope and therefore impractical to be used. So, we used in this work metaheuristics solutions which have excellent quality at a reasonable time. We compared to the solutions generated by the software with the solutions informed by experts. The obtained progress provided waste reduction, increased producer's profits, reducing the need for devastating new areas, reducing the cost of food and hence an easy access to the population.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alocação de colheitadeiras para áreas	16
Figura 2 - Distribuição de culturas no Brasil	19
Figura 3 - Perdas de soja de acordo com umidade dos grãos	22
Figura 4 - Danificação mecânica em função da umidade de colheita	22
Figura 5 - Percentagem de perda durante a colheita em função da umidade da semente	23
Figura 6 - Funcionamento da Metaheurística Colônia de Formigas	31
Figura 7 - Tela principal TerraView	36
Figura 8 - Modelo de Cromossomo	45
Figura 9 - Seleção de Indivíduos	46
Figura 10 - Mutação em áreas	46
Figura 11 - Mutação em Colheitadeira	47
Figura 12 - Cruzamento	47
Figura 13 - Resultado Têmpera	49
Figura 14 - Exemplo de troca de área	50
Figura 15 - Diagrama de Classes	51
Figura 16 - Município de estudo em Relação ao Mapa do Brasil e do Piauí	56
Figura 17 - Obtenção de Coordenadas	56
Figura 18 - Dispersão das Áreas no Município de Uruçuí	57
Figura 19 - Percentagem de perda durante a colheita em função da umidade da semente	58
Figura 20 - Gráfico de Resultados para o Cenário 1	59
Figura 21 - Gráfico de Resultados para o Cenário 2	61
Figura 22 - Gráfico de Resultados para o Cenário 3	63
Figura 23 - Comparativo de Resultados	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das áreas	57
Tabela 2 - Tabela de colheitadeiras	58
Tabela 3 - Melhor Resultado para o Cenário 1.....	60
Tabela 4 - Melhor Resultado para o Cenário 2.....	62
Tabela 5 - Melhor Resultado para o Cenário 3.....	64

LISTA DE SIGLAS

- AG: Algoritmos Genéticos, 29
AP: Agricultura de Precisão, 24
Conab: Companhia Nacional de Abastecimento, 14
DPI: Divisão de Processamento de Imagens, 35
FAO: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 13
FIDA: Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola, 13
GPS: Sistema Global de Posicionamento, 24
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 14
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 35
IPEA: Instituto de Pesquisas Aplicadas, 14
OGI-SPT: Otimização do Gerenciamento de Intervenções em Poços por Sondas de Produção Terrestre, 17
ONU: Organização das Nações Unidas, 13
OTI-AGRI: Otimização da Colheita Agrícola, 16
PMA: Programa Mundial de Alimentos, 13
SEO-Agri: Sistema para a Otimização de Colheita Agrícola, 17
SIG: Sistema de Informação Geográfica, 24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo	16
1.1.1	Objetivos Específicos	16
1.2	Organização do documento	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Agricultura	18
2.1.1	Soja	19
2.1.2	Fatores que causam perda na produção e qualidade da soja	20
	Trabalhos Relacionados	21
2.1.3	Agricultura de Precisão	23
2.2	Geoprocessamento	25
2.2.1	Sistema de Informação Geográfica – SIG	25
	Definições e termos básicos	25
2.2.2	Trabalhos relacionados	27
2.3	Problema OGI-SPT	27
2.4	Metaheurísticas	28
	Algoritmo Genético	29
	Colônia de Formigas	31
	Têmpera Simulada	32
2.5	Considerações Finais	33
3	ABORDAGEM SEO-AGRI	35
3.1	TerraView	35
3.2	Metodologia	36
3.3	Software SEO-Agri	38
3.3.1	Modelo Matemático	38
3.3.2	Metaheurística	44
	Algoritmo Genético	44
	Colônia de Formigas	48
	Têmpera Simulada	49
3.3.3	Modelagem do Software	50
	Apresentação	50
	Regras de Negócio	50
	Acesso a Dados	52
3.3.4	Implementação do Algoritmo	54
4	ESTUDO DE CASO	55

4.1	Experimentos	55
4.2	Resultados	59
4.2.1	Cenário 1	59
4.2.2	Cenário 2	60
4.2.3	Cenário 3	63
4.3	Discussão	65
5	CONCLUSÃO	67
6	BIBLIOGRAFIA	69

1 INTRODUÇÃO

O mundo pode passar novamente por uma crise alimentar, segundo o relatório “O Estado da Insegurança Alimentar no Mundo – 2011” (ONU, 2011) divulgado no dia 10 de outubro de 2011 por três agências da Organização das Nações Unidas (ONU, 2013). Existe uma tendência mundial de oscilação nos preços dos alimentos, e segundo o estudo assinado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2013), pelo Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola (FIDA, 2013) e pelo Programa Mundial de Alimentos (PMA, 2013) os preços já estão e devem seguir em alta, afetando gravemente agricultores e consumidores dos países pobres.

Esta crise faz com que países e populações menos desenvolvidas economicamente não tenham acesso a uma alimentação de qualidade e na quantidade adequada. Esse fato faz com que milhares de pessoas passem fome e acabem morrendo em decorrência de sua má alimentação.

O relatório “O Estado da Insegurança Alimentar no Mundo – 2011” (ONU, 2011) ainda diz que:

“[...] mesmo se atingirmos as metas do milênio até 2015, 600 milhões de pessoas ainda sofrerão por causa da fome. Assistir 600 milhões de pessoas passando fome regularmente é inadmissível. Toda a comunidade internacional deve agir com urgência e energia para banir a insegurança alimentar do planeta.”

A solução para esta crise é aumentar a produção e diminuir os custos. A técnica adotada até hoje foi a de aumentar a área plantada e fazer plantio extensivo, para aumentar a produção que em consequência aumenta a oferta e força os preços para baixo.

Contudo, devido ao impacto ambiental negativo causado pela expansão das fronteiras agrícolas, essa prática vem incessantemente sendo desincentivada pelos governos mundiais. Nesse cenário ainda há a possibilidade de se aumentar a produção através da utilização de produtos químicos, mas essa prática também já está com os dias contados. O uso de produtos químicos sofre grandes pressões devido à sua alta toxicidade e os problemas ambientais agregados a elas.

A crise de produção de alimentos se agravou devido à crise econômica mundial que teve início em 2009, que persiste até os dias de hoje afetando principalmente a Europa e os Estados Unidos. Com a crise, a capacidade mundial de investimentos diminuiu, sendo necessário aperfeiçoar ao máximo a produção a fim de diminuir custos.

Com a capacidade de investimentos reduzida os agricultores têm menos recursos para expandir suas lavouras, sendo necessário assim melhorar a produção das lavouras já existentes com o objetivo de combater a falta de alimentos.

Na agricultura como em qualquer grande empresa, “se a crise é grande a melhor saída é inovar para reduzir os custos de produção”. E a melhor maneira para reduzir esses custos é eliminando as perdas.

Segundo o Instituto de Pesquisas Aplicadas (IPEA, 2007),

“[...] As causas primordiais desse prejuízo são maus hábitos de alimentação e o gerenciamento inadequado, desde o plantio até a chegada do produto à mesa do consumidor.

O Brasil está entre os 10 países que mais desperdiçam comida no mundo. Cerca de 35% de toda a produção agrícola vão para o lixo. Isso significa que mais de 10 milhões de toneladas de alimentos poderiam estar na mesa dos 54 milhões de brasileiros que vivem abaixo da linha da pobreza. Segundo dados do Serviço Social do Comércio (SESC), R\$ 12 bilhões em alimentos são jogados fora diariamente, uma quantidade suficiente para garantir café da manhã, almoço e jantar para 39 milhões de pessoas. [...]”

O relatório ainda se baseia em uma análise feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2005) e o cita,

“[...] Em 2005, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) analisou os índices de perdas do plantio à pré-colheita dos principais grãos cultivados no país, entre 1996 e 2002, tais como arroz, feijão, milho, soja e trigo. Essa pesquisa aponta que a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab (2013)) estimava perdas de grãos em cerca de 10% da produção, o que correspondia a 9,8 milhões de toneladas, considerando números da safra 2000/2001. [...]”

Ainda segundo JARDINE (2002 *apud* IBGE, 2005).

“[...] as perdas na colheita são as mais significativas. Para minimizá-las é necessário que o agricultor observe uma série

de cuidados. É preciso, por exemplo, determinar o grau de maturação fisiológica dos grãos, e decidir com exatidão o momento de iniciar a colheita. [...]"

Analisando Jardine (2002), um dos momentos que mais causam perdas é a colheita em momento inadequado. Atacando este problema a redução das perdas na agricultura será significativa e os agricultores conseguirão produzir mais, diminuir os custos e puxar os preços para baixo.

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de alimentos, e sua economia depende muito da produção agrícola. Segundo a Embrapa (2009) a soja é uma importante fonte de proteínas e aminoácidos que devem ser providos ao corpo humano por fonte externas.

Santos (2008) cita que a soja foi usada em vários momentos como alimento proteico, retirando assim crianças do risco iminente de morte e minimizando os efeitos da crise humanitária. Sendo assim a soja é de fundamental importância para ajudar a evitar uma nova crise alimentar mundial e, pela sua grande importância para a economia brasileira, é fundamental para manter a estabilidade econômica do país.

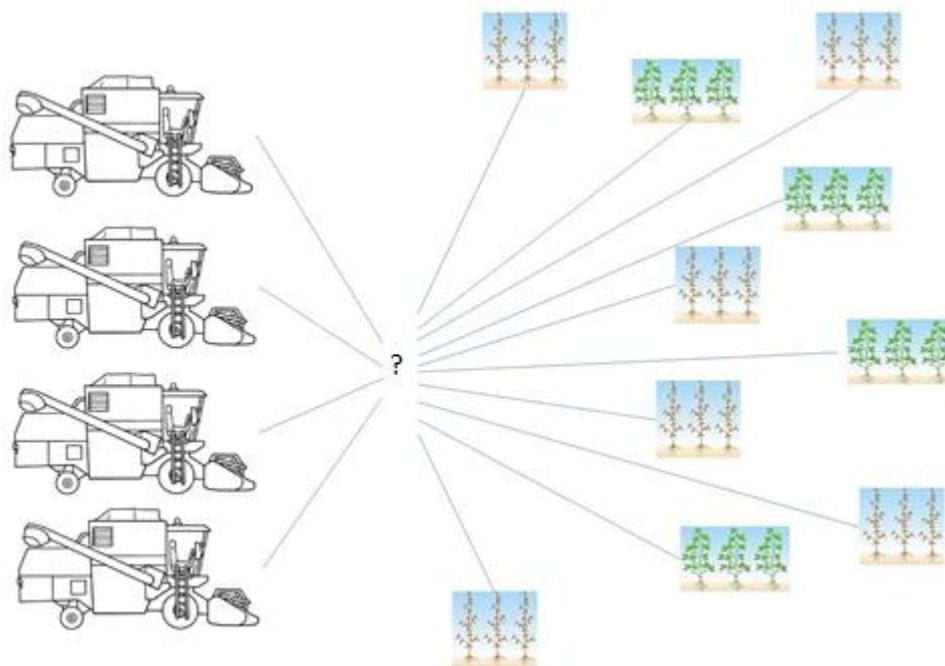
Ela se torna ainda mais importante para nosso país, se analisarmos o relatório da CONAB (2013), segundo o qual a área plantada no Brasil na safra 2012/13 será de 52,01 milhões de hectares (ha), dos quais 27,3 milhões serão de soja. Isso corresponde a mais de 52% da área plantada.

Considerando os fatores sociais e econômicos envolvidos no aumento da produção de alimentos, em especial da soja, este trabalho apresenta uma metodologia e um software para auxiliar os produtores rurais a diminuir as perdas de grãos provenientes da colheita em momentos inadequados. A tecnologia proposta visa auxiliar o produtor rural na tomada de decisões referentes à alocação de colheitadeiras para áreas de produção agrícola.

Devido ao alto custo de aquisição e manutenção de uma colheitadeira, seu número é menor do que a demanda por colheita. Assim, formam-se “filas de áreas” a serem colhidas por uma mesma colheitadeira (Figura 1). Apresenta-se uma solução de software que designará colheitadeiras para as áreas agrícolas, levando em consideração as restrições de disponibilidade do equipamento e tentando minimizar

as perdas de grão que ocorrem devido à colheita não ser realizada no momento adequado.

Figura 1 - Alocação de colheitadeiras para áreas



Fonte: (Autoria Própria)

1.1 Objetivo

O trabalho proposto tem por objetivo principal o desenvolvimento de uma metodologia e respectivo componente de software no ambiente TerraView (INPE, 2012) que auxilie na Otimização da Colheita Agrícola (OTI-AGRI). O propósito do software é determinar a sequência ótima de alocação de colheitadeiras para um conjunto de áreas de cultivo de soja.

1.1.1 Objetivos Específicos

Visando alcançar o objetivo principal, o trabalho demandou os seguintes objetivos específicos:

- Compreender a fundo a relação entre a umidade da soja e as perdas relativas à colheita;
- Realizar amplo levantamento dos estudos nacionais e internacionais referentes à: perda de produtividade da soja em relação à umidade da

mesma, utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão, e métodos de otimização e algoritmos de busca;

- Propor uma adaptação da metaheurística utilizada no problema “Otimização do Gerenciamento de Intervenções em Poços por Sondas de Produção Terrestre” (OGI-SPT) (LIMA JUNIOR, 2002) para o problema estudado;
- Desenvolver um software para a Otimização de Colheita Agrícola (SEO-Agri).

1.2 Organização do documento

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Introdução, o Capítulo Fundamentação Teórica, apresenta uma revisão teórica sobre os principais aspectos relevantes para o trabalho, o Capítulo Abordagem SEO-Agri expõe a metodologia utilizada para a resolução do problema e a arquitetura do software proposto. O Capítulo Estudo de caso exhibe os resultados obtidos com a solução proposta. As conclusões obtidas durante o desenvolvimento do trabalho e os trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo Conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos envolvidos no trabalho. A Seção Agricultura apresenta os conceitos básicos sobre agricultura, nela é relatada a importância da agricultura para o Brasil e o Mundo. Mostra que a soja é hoje uma das culturas mais importantes, tanto social como economicamente, contudo ainda se tem grandes perdas devido a técnicas inadequadas de colheita.

A Seção Geoprocessamento apresenta os conceitos básicos de Geoprocessamento e os Sistemas de Informação Geográfica. A Seção Problema OGI-SPT faz uma breve revisão sobre o problema que serviu como base para o desenvolvimento da pesquisa, o Problema de Otimização no Gerenciamento de Intervenções em Sonda de Produção Terrestre (OGI-SPT), e a Seção Metaheurísticas apresenta os algoritmos de inteligência artificial utilizados para os testes.

2.1 Agricultura

A agricultura é a *“atividade que tem por objetivo a cultura do solo com vistas à produção de vegetais úteis ao homem e/ou à criação de animais”* (HOUAISS, 2007). Ou seja, agricultura é o conjunto de técnicas utilizadas para cultivar plantas com o objetivo de obter alimentos, fibras, energia, matéria-prima para roupas, construções, medicamentos, ferramentas, ou apenas para contemplação estética.

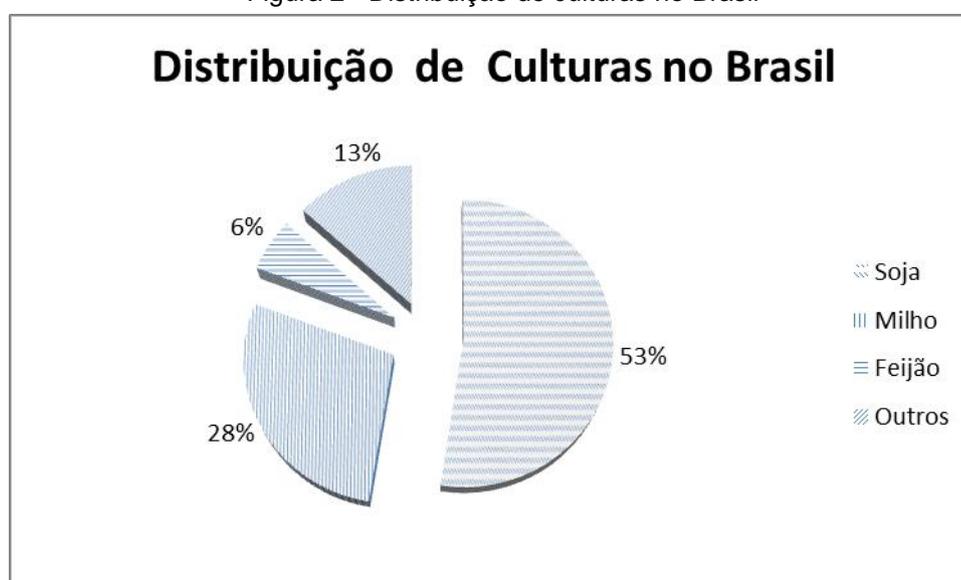
A agricultura permite a existência de aglomerados humanos com maior densidade populacional que os que podem ser suportado pela caça e coleta. Houve uma transição gradual na qual a economia de caça e coleta coexistiu com a economia agrícola: algumas culturas eram deliberadamente plantadas e outros alimentos eram obtidos da natureza. Hoje quase toda a produção mundial de alimentos é obtida através da agricultura, só restando algumas poucas regiões onde a caça e a coleta ainda existem.

O Brasil dispõe de clima diversificado, energia solar abundante, chuvas regulares, aproximadamente 13% de toda a água doce disponível no planeta, 388 milhões de hectares de terras agricultáveis férteis e de alta produtividade. O agronegócio brasileiro é considerado uma atividade próspera e rentável. Esses

fatores fazem do Brasil um lugar com vocação natural para o desenvolvimento da atividade agrícola (CONAB, 2009).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013) a área plantada no Brasil em 2012/13, é estimada em 52,01 milhões de hectares. Dentre as grandes culturas, a soja se destaca com uma área estimada de 27,3 milhões de hectares, seguida pelo milho com 14,7 milhões e feijão com 3,1 milhões de hectares. Esses dados mostram a importância da soja, fazendo-se uma das culturas mais importantes do país, abrindo fronteiras e povoando terras antes esquecidas (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição de culturas no Brasil



Fonte: Autoria Própria, dados (CONAB, 2013)

2.1.1 Soja

Soja é um grão rico em proteínas, cultivado como alimento tanto para humanos quanto para animais. A soja pertence à família das leguminosas, assim como o feijão, a lentilha e a ervilha. A palavra soja vem do japonês *shoyu*, seu nome científico é *Glycine max*. Ela é originária da China e do Japão (HOUAISS, 2007).

O grão é uma importante fonte de proteínas, contém quantidade significativa de aminoácidos que devem ser providos ao corpo humano através de fontes externas, devido ao mesmo não ser capaz de sintetizá-los (EMBRAPA, 2009).

Como exemplo de sua importância podemos citar o fato da mesma ter sido usada como fonte de alimento proteico fornecido por organizações humanitárias a africanos que apresentavam alto índice de desnutrição. Como resultado desta dieta baseada em soja, crianças que se encontravam em desnutrição extrema correndo risco de morte recuperaram peso em poucas semanas. Esse fenômeno ocorreu na crise humanitária de Biafra (década de 1970), Etiópia (década de 1980) e Somália (década de 1990) (SANTOS, 2008).

2.1.2 Fatores que causam perda na produção e qualidade da soja

Existem alguns fatores que estão intimamente ligados à produtividade e a qualidade da soja produzida. Segundo a Embrapa (2004) seis fatores se destacam:

- **Mal preparo do solo:** o solo mal preparado e com irregularidades causa perdas no momento da colheita devido à oscilação gerada na barra de corte da colheitadeira, fazendo com que o corte não seja uniforme, cortando muitas vezes a vagem ao meio;
- **Inadequação da época de semeadura:** do espaçamento e da densidade, o plantio em época inadequada pode influenciar na altura das plantas. E o espaçamento ou a densidade inadequado podem ocasionar acamamento¹ das plantas. Ambas causam perdas na hora da colheita;
- **Cultivares não adaptadas:** podem gerar plantas mais baixas ou acamamento das plantas, prejudicando assim a colheita;
- **Ocorrência de plantas daninhas:** faz com que a umidade permaneça alta por muito tempo, prejudicando assim a qualidade da semente devido a fatores mecânicos, e reduzindo a eficiência da colheita devido à necessidade de se reduzir a velocidade da colheitadeira;
- **Retardamento da colheita:** o atraso na colheita pode causar perdas devido a imprevistos causados por chuvas. O excesso chuva muito perto

¹ Quando as plantas, por terem uma altura incompatível com sua estrutura, acabam deitando.

da colheita pode levar ao deterioramento da semente. Há ainda problemas relacionados ao debulhamento²;

- **Umidade inadequada:** a soja, quando colhida com teor de umidade entre 13% e 15%, tem minimizados os problemas de danos mecânicos e perdas na colheita. Sementes colhidas com teor de umidade superior a 15% estão sujeitas a maior incidência de danos mecânicos latentes e, quando colhidas com teor abaixo de 12%, estão suscetíveis ao dano mecânico imediato, ou seja, à quebra.

Assim, a colheita constitui uma importante etapa no processo produtivo da soja, principalmente pelos riscos aos quais a lavoura está sujeita, tanto aquela destinada à produção de grãos quanto à produção de sementes. É natural que durante o processo de colheita ocorram algumas perdas. As perdas, segundo Silveira (2001) referem-se tanto aos grãos danificados que acompanham o produto colhido, interferindo negativamente na sua qualidade, quanto aos desperdícios representados pelos grãos que não são colhidos pela máquina e ficam no campo.

Trabalhos Relacionados

A colheita constitui-se numa das etapas mais importantes do processo produtivo, principalmente pelos riscos aos quais a lavoura está sujeita. Assim é natural que ocorram algumas perdas neste processo (BAUER e GONZATTI, 2007).

Para Bauer e Gonzatti (2007) um dos fatores que mais influenciam na perda no momento da colheita é o efeito da umidade dos grãos, que pode ser percebido na plataforma de corte, onde a redução da umidade provocou elevação das perdas de grãos, pelo fato de que, mais secas, as vagens se abrem com maior facilidade ao toque do molinete³. Essas perdas variaram de 76 a 82% da perda total ocorrida durante a colheita (Figura 3).

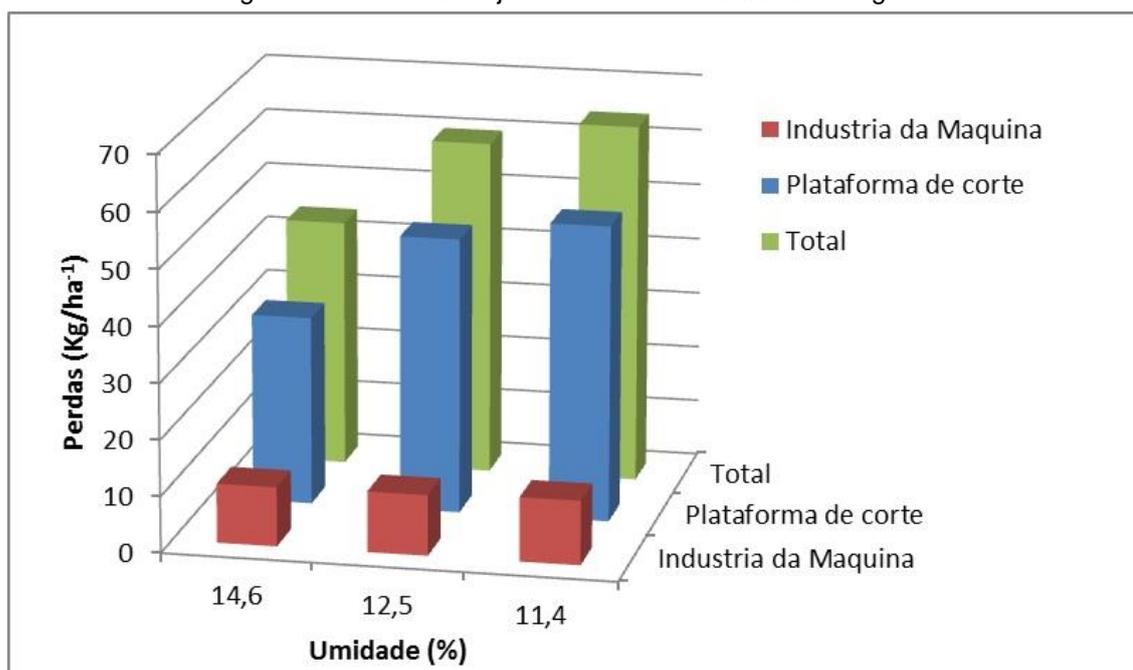
Hamer e Peske (1997) avaliaram a influência da umidade na qualidade da semente produzida. Eles identificaram que com a umidade de colheita de 11,4%,

² Debulhamento ou desinência é a abertura espontânea da vagem devido a maturação.

³ Esta peça posiciona as plantas de modo a facilitar o corte pela lâmina. Leia mais em EMBRAPA (2010)

mais de 10,0% das sementes se tornaram não viáveis a plantação por causa de danificação mecânica e, entre graus de umidade de 14,0 a 18,4%, os danos situaram-se menores que 6% (Figura 4). Pode-se afirmar também, considerando os dados estimados e observados, que a partir de 19,0% de umidade a danificação se elevou drasticamente.

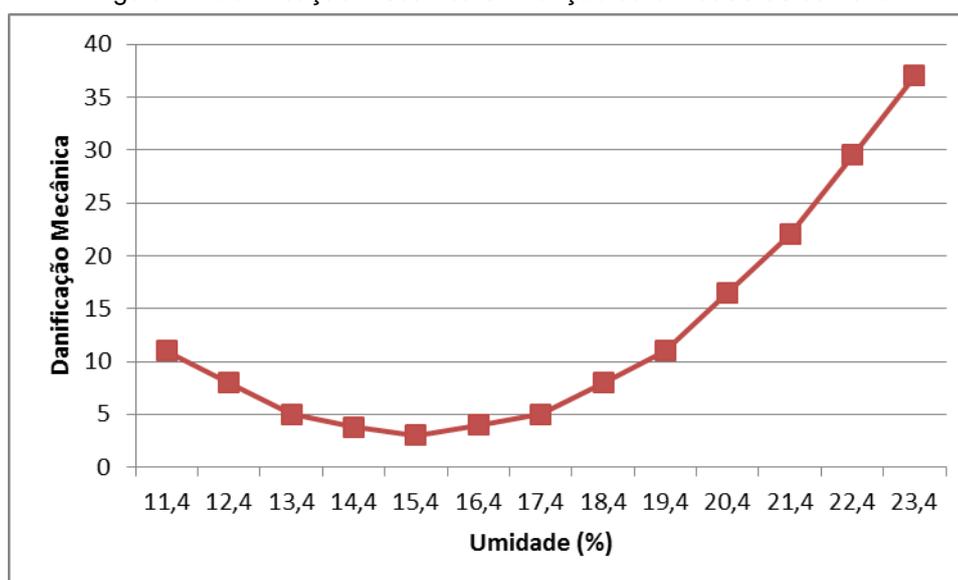
Figura 3 - Perdas de soja de acordo com umidade dos grãos



Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, 2004.

Fonte: (BAUER e GONZATTI, 2007)

Figura 4 - Danificação mecânica em função da umidade de colheita

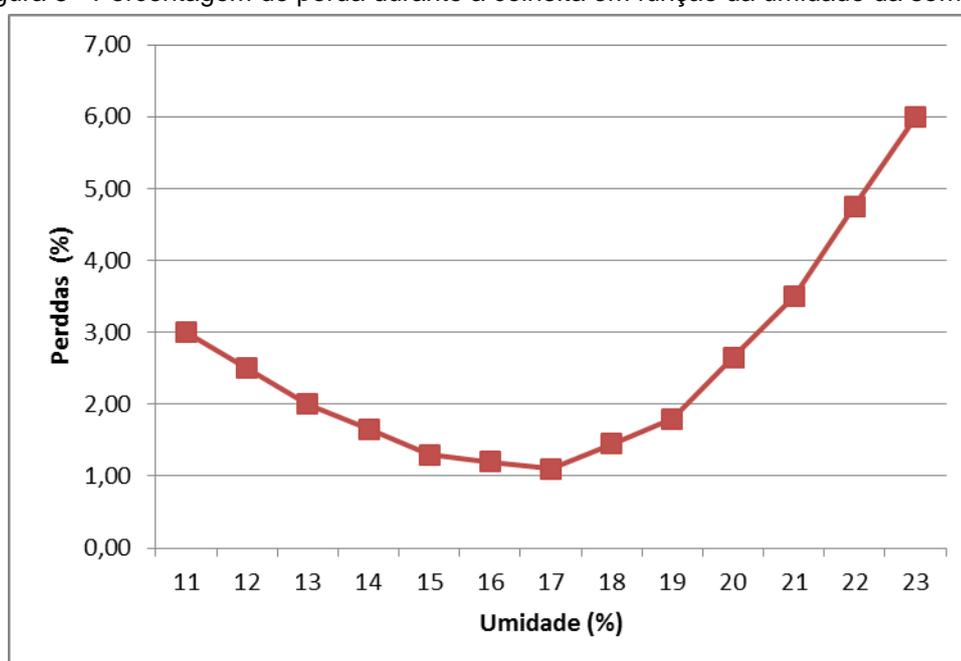


Fonte: (HAMER e PESKE, 1997)

Hamer e Peske (1997) também avaliam a perda de grão na colheita. Como vemos na Figura 5, para umidades de colheita entre 14,0 e 18,0%, as perdas de semente durante a colheita foram mínimas, e a partir de 19,0% aumentaram muito. Com 17,5% de umidade encontram-se perdas ao redor de 1,0%, enquanto que, com umidade de 22,7%, as perdas de sementes atingiram 4,3%.

Segundo Silveira (1990) durante o processo de colheita as perdas totais não devem ultrapassar os 2% em terrenos planos e 3% em locais menos favoráveis. Já para Embrapa (1996), as perdas ocorridas no processo de colheita são consideradas normais quando não ultrapassam 1sc/ha.

Figura 5 - Percentagem de perda durante a colheita em função da umidade da semente



Fonte: (HAMER e PESKE, 1997)

Muitas pesquisas estão sendo feitas para aumentar a produção de áreas agrícolas e reduzir suas perdas. A Agricultura de Precisão é uma das linhas de pesquisa em que mais se obtêm resultados.

2.1.3 Agricultura de Precisão

Hoje o mundo sofre grande pressão de organizações ambientais pelo mantimento das áreas de mata e pela preservação do meio ambiente. Assim, a opção de se aumentar a produção aumentando a área agrícola se torna um problema. Surge então a necessidade de se aumentar a produção de áreas já existentes.

Com o intuito de se produzir com mais eficiência surge o termo Agricultura de Precisão (AP). Ela é considerada por Tschiedel e Ferreira (2001) como “o sistema de produção adotado por agricultores de países de tecnologia avançada”.

Inamasu *et al* (2011) entende que a “[...] AP é uma postura gerencial que considera a variabilidade espacial para maximizar o retorno econômico e minimizar efeito ao meio ambiente”.

Segundo o *Committee On Assessing Crop Yield: Site-Specific Farming, Information Systems, And Research Opportunities, National Research Council* (1997), formado por representantes da secretaria da Agricultura do Governo Americano, a agricultura de precisão é um conjunto de estratégias de gestão, que utilizam a tecnologia da informação para trazer dados de múltiplas fontes e apoiar as decisões relacionadas à produção vegetal.

Auernhammer (1994) diz que AP é “[...] um novo jeito de produzir por meio de conceitos antigos [...]” isto é, utilizar o conceito agrônômico tradicional, porém, fazendo uso de ferramentas como Sistema Global de Posicionamento (GPS), Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no apoio a tomadas de decisões.

Inamasu *et al* (2011) cita vários trabalhos que mostram a importância do uso do geoprocessamento junto com a AP para a redução de custos. Os trabalhos mostram que ao se utilizar o geoprocessamento podemos criar mapas de áreas, os quais possibilitam que o agricultor faça intervenções mais específicas. Isso causa a redução de custos, pois as intervenções são feitas exatamente onde o problema se encontra e não em toda a área, evitando assim o desperdício e as perdas.

Assim a AP utiliza tecnologias de geoprocessamento como GPS e SIG, para trabalhar com dados obtidos no campo com o intuito de auxiliar os agricultores nas suas tarefas. Contudo, o *Committee On Assessing Crop Yield: Site-Specific Farming, Information Systems, And Research Opportunities, National Research Council* (1997), ressalta que para que tudo funcione corretamente três características são de fundamental importância: “*captação de dados em escala e frequência adequada, interpretação e análise de dados, gestão e implementação de uma resposta em escala espacial e temporal adequada*”.

2.2 Geoprocessamento

O termo geoprocessamento é empregado para representar a área de conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Ela pode ser utilizada em diversas áreas como a de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicação, energia e planejamento urbano. Em países de grandes dimensões, como é o caso do Brasil, o geoprocessamento é de fundamental importância, pois apresenta um bom custo/benefício para os processos de tomada de decisão (EMBRAPA, 1998).

O geoprocessamento utiliza vários recursos computacionais como Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados diferenciados.

2.2.1 Sistema de Informação Geográfica – SIG

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser visto a partir de duas perspectivas: Sistema de Informação e Informação Geográfica.

Segundo Laudon (1999), um sistema de informação pode ser definido como:

"[...] um conjunto de componentes inter-relacionados trabalhando juntos para coletar, recuperar, processar, armazenar e distribuir informações com a finalidade de facilitar o planejamento, o controle, a coordenação, a análise e o processo decisório em organizações".

Para Ferreira (2006), informação geográfica é:

"[...] informação sobre locais na superfície da Terra; conhecimento sobre onde alguma coisa está; conhecimento sobre o que está em uma dada localização."

Sendo assim, os SIGs utilizam recursos computacionais para tratar dados relacionados aos processos do espaço geográfico.

Definições e termos básicos

Para melhor entender os SIGs existem alguns conceitos que devem ser compreendidos.

Dados Vetoriais - Estrutura de dados baseada em coordenadas, comumente usada para representar os elementos de um mapa. Cada elemento é representado por uma lista ordenada de coordenadas (x, y). Essas coordenadas caracterizam-se por serem representados por pontos, linhas e polígonos. Ligado a este tipo de dado, existe o conceito de vetorização – Processo de transformar entidades gráficas matriciais em vetorial digital. Pode ser realizada de maneira automática, semiautomática ou manual;

Dados Raster - Estrutura de representação de dados espaciais em que os elementos são codificados na forma de uma matriz (grid). Quanto menor for o tamanho de cada quadro dessa matriz, maior será a semelhança com a representação vetorial do elemento. O tamanho do quadro é função da escala de trabalho e do nível de detalhe desejado. Dados raster podem sofrer transformações do tipo Raster/Vetorial – Processo que converte uma imagem representada por quadro sem outra representada por pontos, linhas e polígonos (vetores);

Dados Georreferenciados - Todos os arquivos de dados espaciais em um SIG são georreferenciados. O ato de "georreferenciar" consiste em determinar a localização de um plano no espaço definido por um sistema de referenciamento de coordenadas. Por exemplo, em imagens raster uma forma comum de georreferenciamento é indicar o sistema de referência (latitude, longitude), as unidades de referência (graus) e as coordenadas das bordas esquerda, direita, superior e inferior da imagem;

GPS - O GPS (*Global Positioning System*) é um sofisticado sistema eletrônico de navegação, baseado em uma rede de satélites que permite localização instantânea, em qualquer ponto da Terra, com uma precisão quase perfeita. O sistema consiste basicamente de três partes: um complexo sistema de satélites orbitando ao redor da Terra, estações rastreadoras localizadas em diferentes pontos do globo terrestre e os receptores GPS nas mãos dos usuários.

Existem vários SIGs no mercado, como exemplo pode-se citar: ArcGis (ESRI, 2013) (software proprietário), Quantum GIS (OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION, 2013) (Público para a utilização e alteração), SPRING (DPI - INPE, 2012) (Público para a utilização e alteração), TerraView (INPE, 2012) (Público para a

utilização e alteração). Destes destacam-se o software SPRING e TerraView que são brasileiros.

2.2.2 Trabalhos relacionados

Existem inúmeros trabalhos que mostram os benefícios de se utilizar os SIGs na agricultura como meio de se aumentar a produção e evitar perdas. Dentre eles podemos citar:

- Guimarães e Raffo (2005) e Guimarães (2004) comparam o uso de talhões com características específicas, que levam em consideração o relevo do solo e a cultura plantada, com talhões onde essas características não são levadas em conta.
- Souza, Vieira e Alves (2005) avaliaram as implicações da produção de café no ecossistema local. Foram apresentados gráficos e mapas do impacto da produção de café no ecossistema da região.
- Inamasu, Naime, *et al.*, (2011) avaliaram os benefícios da utilização de SIGs por produtores de pequenas áreas. Onde foram feitos levantamentos dos benefícios dos SIGs na delimitação e mapeamento de áreas.
- UFRRJ (2004) e Pitz e Figueiredo (2001) fazem uma revisão sobre os benefícios de se utilizar o geoprocessamento na agricultura de precisão.

Contudo, não foram encontrados trabalhos relacionados a otimização da colheita agrícola.

2.3 Problema OGI-SPT

Entre os trabalhos relacionados cita-se o problema de Otimização do Gerenciamento de intervenções em poços por sondas de Produção terrestre (OGI-SPT) proposto por Lima Junior (2002).

O problema OGI-SPT trabalhava sobre a seguinte problemática:

O petróleo é a principal fonte de energia para o homem contemporâneo, sendo de fundamental importância econômica e social. Contudo a sua extração não é uma tarefa fácil. Para extraí-lo é necessária a perfuração de poços e a utilização de bombas para retirá-lo das rochas onde o mesmo está armazenado. Devido à complexidade exigida para a sua extração, problemas no funcionamento destes poços são inevitáveis e para o conserto desses poços são designadas Sondas de Produção Terrestre (SPT).

Apesar de haver sondas para o conserto desses poços o custo de compra e operação desses equipamentos é muito alto, fazendo com que seu número seja limitado. É aí onde se encontra o problema, pois dispõe-se de poucas sondas e muitos poços. Neste contexto, quais poços devem ser consertados primeiro e quais devem esperar?

Para a solução do problema, o mesmo foi modelado da seguinte forma: foram criadas três entidades, as Sondas, as Intervenções e Ordem de atendimento. A solução é dada por qual sonda vai atender quais intervenções e em qual ordem ela vai fazer o atendimento.

Por se tratar de um problema de otimização combinatória de difícil solução, visto que o número de soluções seria muito grande, o problema não foi abordado de forma exata. Foram utilizadas Metaheurísticas (métodos aproximativos que fornecem em geral soluções viáveis razoáveis sem garantia de ótimo) para que fossem encontradas soluções de boa qualidade em um tempo hábil.

Como apresentado acima, o problema OGI-SPT tem características semelhantes ao problema OTI-AGRI. Em ambos temos de designar máquinas para executarem serviços visando minimizar as perdas. Assim, o trabalho de Lima Junior (2002) se tornou um trabalho de referência para o presente trabalho.

2.4 Metaheurísticas

Metaheurísticas são métodos aproximativos projetados com base nas propriedades estruturais ou nas características das soluções dos problemas, com complexidade reduzida em relação à dos algoritmos exatos e fornecendo, em geral, soluções viáveis de boa qualidade, sem garantia de ótimo (LIMA JUNIOR, 2002).

O desenvolvimento de uma heurística - que é um termo derivado do grego *heuriskein*, e significa descobrir ou achar - se dá, geralmente a partir de problemas específicos, e necessitam de severas adaptações para serem utilizadas em outros. Podemos dizer que uma heurística é um método de busca de soluções em que não existe qualquer garantia de sucesso.

Hoje existem inúmeras metaheurísticas para resolver todos os tipos de problemas, dentre todas podemos citar três mais utilizadas o Algoritmo genético, colônia de formiga e têmpera simulada. Nas seções seguintes eles são apresentados.

Algoritmo Genético

A Inteligência Computacional é uma área da ciência que busca, através de técnicas inspiradas na natureza, o desenvolvimento de sistemas inteligentes que copiam aspectos do comportamento humano, tais como: aprendizado, percepção, raciocínio, evolução e adaptação.

Algoritmos Genéticos (GA) são inspirados no princípio Darwiniano da evolução das espécies e na genética (GOLDBERG, 1989). São algoritmos probabilísticos que fornecem um mecanismo de busca paralela e adaptativa baseado no princípio de sobrevivência dos mais aptos e na reprodução dos mesmos.

Os princípios da natureza nos quais os GAs se inspiram, são simples. De acordo com a teoria de Charles Darwin, o princípio de seleção privilegia os indivíduos mais aptos com maior longevidade e, portanto, com maior probabilidade de reprodução. Indivíduos com mais descendentes têm mais chance de perpetuar seus códigos genéticos nas próximas gerações. Tais códigos genéticos constituem o genótipo de cada indivíduo e estão representados pelos cromossomos.

Em GAs um cromossomo é uma estrutura de dados que representa uma das possíveis soluções do espaço de busca do problema. Cromossomos são então submetidos a um processo evolucionário que envolve avaliação, seleção, recombinação sexual (crossover) e mutação. Após vários ciclos de evolução a população deverá conter indivíduos mais aptos (GLISSON, 1998).

Para Pacheco (2011), pode-se caracterizar os Algoritmos Genéticos através dos seguintes componentes:

Problema: GAs são particularmente aplicados em problemas complexos de otimização: problemas com diversos parâmetros ou características que precisam ser combinadas em busca da melhor solução; problemas com muitas restrições ou condições que não podem ser representadas matematicamente; e problemas com grandes espaços de busca.

Codificação: A representação das possíveis soluções do espaço de busca de um problema define a estrutura do cromossomo a ser manipulado pelo algoritmo. Essa representação é a codificação do cromossomo, e depende do tipo de problema e do que, essencialmente, se deseja manipular geneticamente.

Inicialização da População: A inicialização da população determina o processo de criação dos indivíduos para o primeiro ciclo do algoritmo. Tipicamente, a população inicial é formada a partir de indivíduos aleatoriamente criados. Populações iniciais aleatórias podem ser semeadas com bons cromossomos para uma evolução mais rápida, quando se conhece, a priori, o valor de boas “sementes”. Uma técnica eficiente para se encontrar por GA boas soluções em um problema, consiste em executar evoluções (rodadas) sucessivas, somando-se a população inicial da evolução seguinte com as melhores soluções encontradas na anterior.

Seleção: O processo de seleção em algoritmos genéticos seleciona indivíduos para a reprodução. A seleção é baseada na aptidão dos indivíduos. Indivíduos mais aptos têm maior probabilidade de serem escolhidos para reprodução.

Operadores Genéticos: Indivíduos selecionados são recombinados através do operador de “*crossover*”. Pares de genitores são escolhidos aleatoriamente da população, baseado na aptidão, e novos indivíduos são criados a partir da troca do material genético. Os descendentes serão diferentes de seus pais, mas com características genéticas de ambos os genitores.

Avaliação: A avaliação é o elo entre o GA e o mundo externo. A avaliação é feita através de uma função que melhor representa o problema e tem por objetivo fornecer uma medida de aptidão de cada indivíduo na população corrente, que irá dirigir o processo de busca. A função de avaliação é para um GA o que o meio

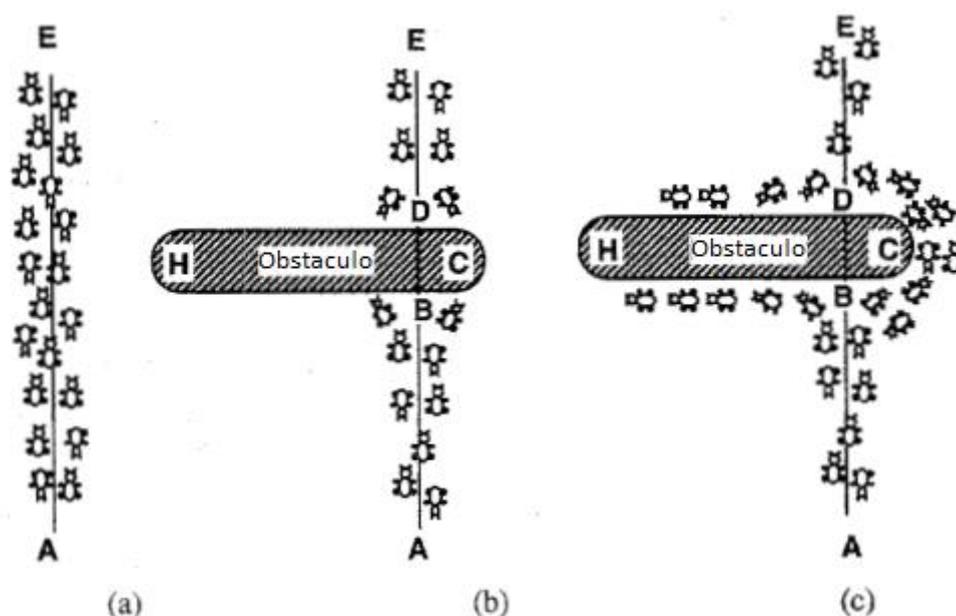
ambiente é para seres humanos. Funções de avaliação são específicas de cada problema.

Critério de Parada: O algoritmo avalia se são necessárias mais iterações ou se a solução encontrada já é uma “boa” solução. Vários critérios podem levar o GA a achar que já chegou à solução, alguns deles são: tamanho da população, número de gerações, total de indivíduos. Caso o algoritmo ache que a solução ainda possa ser melhorada o processo volta para a fase de seleção, e os novos indivíduos gerados são usados como população. Caso contrário o melhor cromossomo é retornado como a solução.

Colônia de Formigas

O *Ant Colony Optimization* (ACO) (DORIGO, MANIEZZO e COLORNI, 1996) é um modelo metaheurístico populacional. Como o próprio nome sugere, ACO é inspirado pelo comportamento de colônia de formigas reais, em particular, por seu comportamento de aquisição de alimentos. Uma das principais ideias deste modelo é a comunicação indireta entre os indivíduos de uma colônia de agentes, chamados formigas artificiais.

Figura 6 - Funcionamento da Metaheurística Colônia de Formigas



(a) Caminho Livre, (b) obstrução de caminho, (c) novos caminhos

Fonte: Adaptação de Dorigo, Maniezzo & Colorni (1996).

Esta comunicação é realizada através de trilhas de feromônio deixadas pelas formigas em componentes do problema abordado, analogamente as trilhas de feromônio depositadas por formigas reais para se comunicar. Estas trilhas artificiais são um tipo de informação numérica distribuída, que é modificada pelas formigas a fim de refletirem suas experiências acumuladas enquanto resolvendo determinado problema.

Na Figura 6 podemos ver como é o funcionamento do ACO. No cenário “a” as formigas estão locomovendo-se em linha reta, no “b” ocorre o bloqueio do caminho inicial então as formigas saem aleatoriamente a procura de um novo caminho. Em “c” podemos ver que as formigas estão se concentrando do lado direito do obstáculo, isso ocorre, que por este caminho ser mais perto acaba por ter uma concentração maior de feromônio atraindo cada vez mais formigas.

Têmpera Simulada

Um algoritmo guloso nunca faz um movimento no sentido contrário para melhorar o seu resultado. Sem um movimento em direção a estados com menor qualidade ele com certeza será incompleto. Em contraste, um percurso puramente aleatório — isto é, a movimentação até um sucessor escolhido uniformemente ao acaso a partir do conjunto de sucessores — é completa, mas extremamente ineficiente. Então, parece razoável tentar combinar a busca gulosa com um percurso aleatório que resulte de algum modo em eficiência e completeza. A têmpera simulada é esse algoritmo (RUSSELL e NORVIG, 2010).

Em metalurgia a têmpera é o processo usado para temperar ou endurecer metais e vidro aquecendo-os a alta temperatura e depois esfriando-os gradualmente, permitindo assim que o material seja misturado em um estado cristalino de baixa energia. A têmpera pode ser imaginada como a tarefa de colocar uma bola de pingue-pongue na fenda mais profunda em uma superfície acidentada. Se simplesmente deixarmos a bola rolar, ela acabará em um mínimo local. Se agitarmos a superfície, poderemos fazer a bola quicar para fora do mínimo local. O artifício é agitar com força suficiente para fazer a bola sair dos mínimos locais, mas não o bastante para desalojá-la do mínimo global. A solução de têmpera simulada é

começar a agitar com força (isto é, em alta temperatura) e depois reduzir gradualmente a intensidade da agitação (ou seja, baixar a temperatura).

A têmpera simulada foi usada inicialmente de forma extensiva para resolver problemas de layout de VLSI no começo dos anos 80. Ela foi amplamente aplicada ao escalonamento industrial e a outras tarefas de otimização em grande escala.

2.5 Considerações Finais

O mundo necessita a cada dia que se aumente a produção agrícola para que seja possível suprir as necessidades alimentares da população. Contudo, o aumento dessa produção não pode vir do aumento das áreas plantadas, devido aos impactos ambientais e sociais que isso pode acarretar. Sendo assim, a única solução disponível é o aumento da produção nas áreas já existentes.

Com o intuito de se aumentar a produção nas áreas existentes surgiu a “agricultura de precisão”, que é um conjunto de técnicas que envolvem o conhecimento nos mínimos detalhes sobre a área trabalhada, o uso de tecnologias avançadas e o geoprocessamento com o intuito de aumentar a produção.

Dentre as culturas que são plantadas no Brasil e no mundo a soja se destaca. Ela é a maior cultivar do Brasil, estando presente em mais de 50% das áreas plantadas. A soja também ganha destaque devido às suas propriedades alimentares, sendo usada extensamente na alimentação humana e animal.

Analisando cuidadosamente o ciclo de produção da soja notamos que existe uma grande parte da produção que acaba sendo perdida antes mesmo de ser colhida. Essas perdas se dão em grande parte devido à colheita em momento inadequado.

Para a minimização destas perdas podem ser utilizadas técnicas de geoprocessamento e agricultura de precisão para determinar qual a sequência ótima para a colheita de soja, criando-se para isso componentes de um SIG que trabalhe diretamente com os dados referentes à umidade do grão em cada área apresentado a sequência em que as áreas devem ser colhidas para que se tenha o mínimo de perdas.

Entretanto o número de soluções possíveis é muito elevado, sendo assim um software que teste todos os resultados é computacionalmente inviável. Para contornar esse problema são utilizados algoritmos não exatos, as metaheurísticas.

3 ABORDAGEM SEO-AGRI

O Sistema para a Otimização de Colheitas Agrícolas (SEO-Agri) foi desenvolvido com o intuito de tornar-se uma ferramenta de auxílio para o produtor rural no momento da colheita.

Neste Capítulo serão apresentadas as do desenvolvimento do software bem como o próprio software. A Seção TerraView apresenta o software TerraView, que serviu como base para o plug-in desenvolvido. Na Seção Metodologia será apresentada a metodologia utilizada no processo de criação do software. A seção Problema OGI-SPT apresenta o Software SEO-Agri, para isso ela foi dividida em 4 subseções. Inicialmente é apresentada a modelagem do software seguido do modelo matemático; posteriormente são abordadas as metaheurísticas e algoritmos.

3.1 TerraView

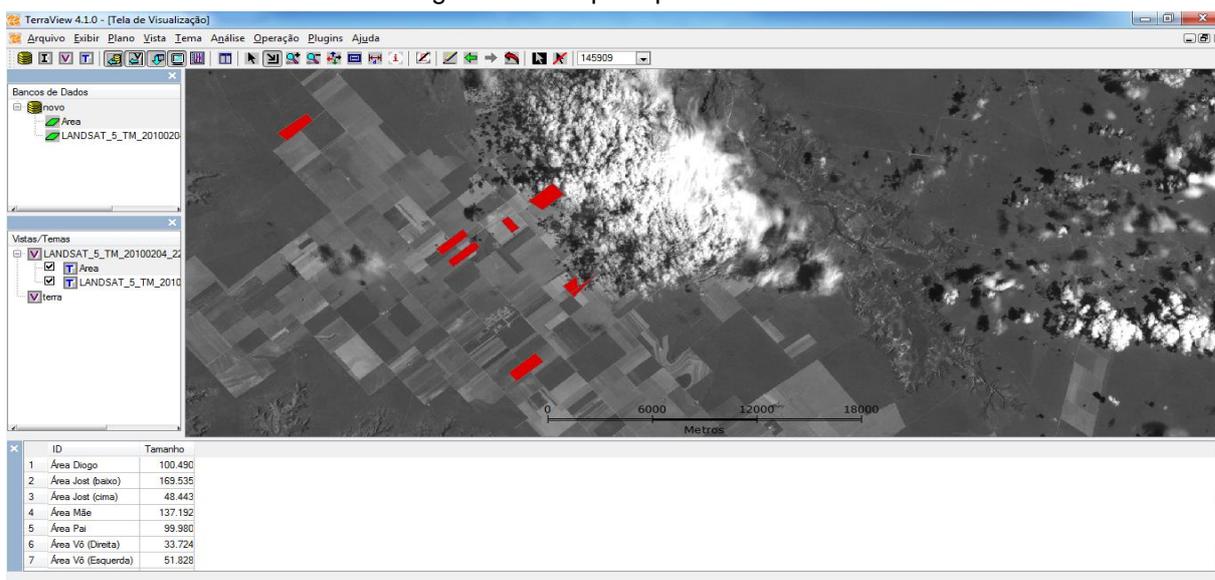
O TerraView (INPE, 2012) é um software brasileiro, distribuído gratuitamente sob a Licença Pública Geral (GNU), que lhe garante a liberdade de compartilhamento e modificação (INPE, 2012). Ele foi desenvolvido para visualização e análise de dados geográficos pela DPI (Divisão de Processamento de Imagens) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). É construído sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib (INPE, 2005), e apresenta como principais objetivos:

- Apresentar à comunidade um fácil visualizador de dados geográficos com recursos de consulta a análise destes dados;
- Exemplificar a utilização da biblioteca TerraLib.

O TerraView manipula dados vetoriais e matriciais, ambos armazenados em Sistema Gerenciador de Banco de Dados relacionais ou georrelacionais de mercado, incluindo ACCESS, PostgreSQL, MySQL e Oracle. Na Figura 7 é apresentado a interface do TerraView.

O TerraView também permite que pesquisadores e desenvolvedores contribuam com o projeto, modificando e desenvolvendo componentes externos e plug-ins.

Figura 7 - Tela principal TerraView



Fonte: (Autoria Própria)

O suporte a plug-ins para o TerraView é feito através de uma biblioteca especialmente voltada para o gerenciamento de plug-ins chamada LibSPL⁴ (disponibilizada na estrutura de diretórios da TerraLib), que resolve questões de portabilidade e de codificação. Todos os plug-ins para o TerraView devem ser linkados com a SPL.

3.2 Metodologia

O desenvolvimento da abordagem proposta e do respectivo software divide-se em cinco etapas:

- Definição do Problema;
- Formalização Matemática;
- Definição de Metaheurísticas;
- Modelagem do Software;
- Implementação dos algoritmos;
- Testes.

⁴Website LibSPL: <http://www.unitedbytes.de/go.php?site=spl>

Definição do Problema -- nesta etapa foram realizadas pesquisas com a finalidade de levantar a maior quantidade de dados possíveis sobre o assunto e verificar a possível existência de softwares similares. Dentre os temas pesquisados os que se destacam são: Revolução verde, Agricultura de Precisão, Perdas Agrícola, Geoprocessamento, Sistemas de Informação Geográfica, Pesquisa Operacional e Modelagem Matemática. Os resultados desta pesquisa são apresentados no Capítulo Fundamentação Teórica.

Formalização Matemática -- foi uma das etapas mais importantes para o desenvolvimento do software. Nela, o modelo matemático utilizado para a solução do problema foi desenvolvido. Este modelo representa juntamente com a metaheurísticas o “cérebro” do programa. O modelo matemático avalia um resultado e quantifica a sua qualidade. O modelo é apresentado na Subseção Modelo Matemático.

Definição de Metaheurísticas -- Devido ao problema ter se apresentado como um problema de otimização combinatória de difícil solução, optou-se por não se buscar uma solução ótima. Foram desenvolvidas metaheurísticas para encontrar-se a melhor solução possível em um tempo reduzido. As metaheurísticas desenvolvidas são apresentadas na Subseção Metaheurística.

Modelagem do Software -- nesta fase foi projetado o funcionamento do software e sua integração com o sistema TerraView. O modelo de software desenvolvido nesta etapa serviu como base, pois gerou a documentação de diagramas de arquitetura e possibilitou a visualização da integração dos componentes necessários para o funcionamento do software. A modelagem é apresentada na Subseção Modelagem.

Implementação dos Algoritmos -- esta etapa apesar de não ser a mais complexa foi a que exigiu o maior tempo e dedicação. Nela foram desenvolvidas todas as interfaces do sistema, bem como foram implementados o modelo matemático e a metaheurística. Nesta fase primeiro foram criadas as interfaces do sistema e, após todas as interfaces prontas, iniciou-se o processo de codificação. O algoritmo e os softwares utilizados no desenvolvimento são analisados na Subseção Implementação do Algoritmo.

Testes -- Esta foi a última fase do desenvolvimento, onde foi avaliado o funcionamento do software e seus resultados. Foram feitos testes de laboratório onde foram detectados e corrigidos erros de codificação, bem como testes práticos onde foi avaliada a qualidade dos resultados obtidos, se comparados com os obtidos sem o uso do sistema. Os resultados dos testes são apresentados na Seção Resultados.

3.3 Software SEO-Agri

O objetivo do plug-in SEO-Agri é ajudar o produtor rural a decidir quais áreas vão ser colhidas por quais colheitadeiras e a que momento. Esta Seção apresenta as características técnicas do software desenvolvido. Nela é apresentado o modelo matemático desenvolvido, as Metaheurística testadas e a modelagem do software.

3.3.1 Modelo Matemático

O objetivo do plug-in SEO-Agri é ajudar o produtor rural a decidir quais áreas vão ser colhidas por quais colheitadeiras e a que momento. Para tomar essa decisão o produtor precisa saber qual o custo de cada uma das soluções possíveis.

O modelo proposto apresenta um cálculo para encontrar o custo de uma solução, o qual é dado pela perda de grão. Quanto maior a perda de grãos maior será o custo. Sendo assim o modelo nos dará a porcentagem média de perda acumulada por todas as áreas com a solução proposta.

Entidades envolvidas

Área => Áreas a serem colhidas

Colheitadeiras => Colheitadeiras que irão colher uma área

Tempo de espera => Tempo de espera para iniciar a colheita

Ordem => Ordem de áreas que cada colheitadeira irá atender

Solução factível

Uma solução factível para o problema seria composta por uma quádrupla do tipo $Q = (C_x, A_i, T_i, O_k)$, onde, uma **Colheitadeira** x de um conjunto de C

colheitadeiras disponíveis, ira colher uma **Área i** de A áreas disponíveis, iniciando a colheita em um **Tempo T** com T_i sendo o momento de início da colheita da área **i**, e em uma **Ordem k** com o variando de 1 até O (k até O pois cada colheitadeira em um itinerário individual, e ela pode colher até n áreas).

Constantes:

$A \Rightarrow$ número de áreas $i, j \in \{1, \dots, A\}$

$C \Rightarrow$ número de Colheitadeiras $x \in \{1, \dots, C\}$

$O \Rightarrow$ número de posições de ordem $k, l \in \{1, \dots, O\}$

$t_i \Rightarrow$ tamanho da área i

$u_i \Rightarrow$ umidade da área i

$h_x \Rightarrow$ área colhida por dia pela colheitadeira x

$d_{i,j} \Rightarrow$ menor tempo de percurso entre as áreas i até j

Variáveis de decisão

$$s_{xi}^k = \begin{cases} 1, & \text{caso a colhitadeira } x \text{ esteja colhendo a area } i \text{ na } k - \text{ésima ordem} \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

$e_i \Rightarrow$ Tempo de espera antes de iniciar a colheita na área i (usado caso a áreas estejam muito úmida para ser colhida)

Funções

$M \Rightarrow$ Perda Média de todas as áreas (1)

$P(u) \Rightarrow$ Perda existente com a umidade u (2)

$R(i, t) \Rightarrow$ Umidade da área i após esperar um tempo t (3)

$T(i) \Rightarrow$ Tempo para terminar de colher a área i (4)

$V(i) \Rightarrow$ Área já colhida até a chegada da última colheitadeira (5)

$N(x, i) \Rightarrow$ Tempo de chegada da colheitadeira c a área i (6)

$Q(i) \Rightarrow$ Tempo de chegada da ultima colheitadeira a área i (7)

$$I(x, i) \Rightarrow \text{Início da colheita da área } i \text{ pela colheitadeira } x \quad (8)$$

Função Objetivo:

(1)

$$\text{Minimizar } \mathbf{M} = \frac{\left(\sum_{i=1}^A P \left(R(i, T(i)) \right) t_i \right)}{\sum_{i=1}^A t_i}$$

Onde:

(2)

$P(u)$ = Utiliza a função de interpolação de Lagrange para determinar a perda obtida com a umidade u .

(3)

$R(i, t)$ = Utiliza a função de interpolação de Lagrange para determinar a umidade da área i a pós a passagem de um tempo t .

(4)

$$T(i) = \frac{t_i - V(i)}{\sum_{x=1}^C \sum_{k=1}^O S_{xi}^k h_x} + Q(i)$$

(5)

$$V(i) = \sum_{x=1}^C \sum_{k=1}^O S_{xi}^k * (Q(i) - I(x, i)) * h_x$$

(6)

$$Q(i) = \max(I(x, i)) \quad x = 1, \dots, C$$

(7)

$$I(x, i) = \begin{cases} N(x, i), & \text{caso essa } N(x, i) > e_i \\ e_i, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

(8)

$$N(x, i) = \sum_{k=1}^O S_{xi}^k * \sum_{j=1}^A (S_{xj}^{k-1} * T(j) + d_{ij})$$

Sujeito a:

(9)

$$\sum_{x=1}^C \sum_{k=1}^O S_{xi}^k < 0 \quad \forall i = 1, \dots, A$$

(10)

$$\sum_{k=1}^O S_{xi}^k = 1 \quad \forall i = 1, \dots, A, x = 1, \dots, C$$

(11)

$$\sum_{i=1}^O S_{xi}^k * V(i) < t_i \quad \forall i = 1, \dots, A, x = 1, \dots, C$$

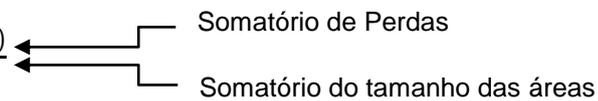
(12)

$$T(i) \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, A$$

Definição

1. A função objetivo tenta minimizar a perda média das área. A perda é dada por $P(u) * t_i$, onde, $P(u)$ é a perda com a umidade u , e t é o tamanho da área i . Com as perdas individuais calculadas somamos todas as perdas individuais e temos a perda total da solução. Por fim a perda total da solução é dividida pelo tamanho da área e testa a perda média.

$$\text{Minimizar } \mathbf{M} = \frac{(\sum_{i=1}^A P(u)t_i)}{\sum_{i=1}^A t_i}$$



A umidade u é dada pela redução da umidade da área devido à espera pelo momento da colheita $R(i, e)$, a espera e é dada pela função $T(i)$, que calcula o tempo que a área i leva para ser colhida (Note que a perda é calculada pelo momento que a área é terminada de colher).

$$\text{Minimizar } \mathbf{M} = \frac{(\sum_{i=1}^A P(R(i, T(i)))t_i)}{\sum_{i=1}^A t_i}$$

2. A perda é calculada através do teorema de Lagrange, este teorema usa interpolação polinomial para calcular os valores de perdas que não constam na tabela de perdas.
3. A redução da umidade é calculada através do teorema de Lagrange, assim como a perda.
4. A função $T(i)$, calcula o tempo para que a área i seja totalmente colhida. Neste calculo alguns fatores tem que ser levados em consideração: varias colheitadeiras podem colher uma mesma área e estas colheitadeiras podem chegar em momentos distintos. Assim para ser calculado o tempo de chegada a seguinte tática foi adotada: usa-se a última colheitadeira a chegar à área como parâmetro, assim primeiro calcula-se quanto da área já foi colhida até a última colheitadeira chegar $V(i)$. Subtrai-se da área total a ser colhida (t_i) e temos a área restante para ser colhida por todas as colheitadeiras $t_i - V(i)$.

Com a área que resta ser colhida em mão verificamos, quanto todas as colheitadeiras que estão colhendo a área colhem por dia $\sum_{x=1}^C \sum_{k=1}^O S_{xi}^k h_x$. E dividimos o restante a ser colhido pelo valor de quanto elas colhem por dia $\frac{t_i - V(i)}{\sum_{x=1}^C \sum_{k=1}^O S_{xi}^k h_x}$, e teremos o total de dias que todas as colheitadeiras colheram juntas.

Por fim o total de dias que todas colheram juntas é somado com a chegada da última colheitadeira $\frac{t_i - V(i)}{\sum_{x=1}^C \sum_{k=1}^O S_{xi}^k h_x} + Q(i)$, e temos o total de tempo que a área esperou até ser totalmente colhida.

5. A função $V(i)$ calcula a área que já foi colhida até a chegada da ultima colheitadeira. Para isso é calculado o tempo que a colheitadeira x fica na área i até a última colheitadeira chegar $Q(i) - I(x, i)$, isso é feito subtraindo o momento que a ultima colheitadeira chega $Q(i)$ pelo momento que a colheitadeira x chega $I(x, i)$. Com o tempo que a colheitadeira permaneceu na área até a última chegar podemos obter a área que ela colheu nesse tempo $(Q(i) - I(x, i)) * h_x$, multiplicando esse tempo pela quantidade de hectares colhida por dia pela colheitadeira.

Por fim é só somar a área colhida por cada uma das colheitadeiras que colherão a área e teremos a área colhida até a chegada da última colheitadeira.

$$V(i) = \sum_{x=1}^C \sum_{k=1}^O S_{xi}^k * (Q(i) - I(x, i)) * h_x$$

↓ Todas as colheitadeiras
↓ Todas as posições de ordem

6. A função $Q(i)$, calcula o tempo até a última colheitadeira chegar a área. Essa função calcula o tempo de chegada de cada colheitadeira a área $I(x, i)$, e retorna o maior dentre todas as colheitadeiras $x = 1, \dots, C$.

$$Q(i) = \max(I(x, i)) \quad x = 1, \dots, C.$$

7. O tempo que uma colheitadeira leva para começar a colher uma área $I(x, i)$, vai depender do tempo que a área tem de esperar para ser colhida. Se o tempo que ela tem que esperar para ser colhida é menor que o seu momento de chegada na área $N(x, i)$ a função retorna o tempo que ela levou para chegar na área, caso contrário, ela irá retornar o tempo de espera para o início da colheita da área e_i .

$$I(x, i) = \begin{cases} N(x, i), & \text{caso essa } N(x, i) > e_i \\ e_i, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

8. O tempo que uma colheitadeira leva para chegar em uma área depende das áreas que ela colheu antes de chegar na área atual. Para saber quais as áreas anteriores colhidas pela colheitadeira é só verificar qual a posição de ordem da área atual $\sum_{k=1}^O S_{xi}^k$, com a posição de ordem da área verifica-se qual é a área anterior da área $k - 1$, por fim soma-se o tempo levado para colhê-la ao tempo de deslocamento entre as duas áreas d_{ij} .

$$N(x, i) = \sum_{k=1}^O S_{xi}^k * \sum_{j=1}^A (S_{xj}^{k-1} * T(j) + d_{ij})$$

9. Pelo menos uma colheitadeira deve estar colhendo a área.
10. Evita que a colheitadeira colha 2 vezes a mesma área.
11. Evita que uma colheitadeira chegue após o término de colheita da área.

12. O tempo que uma área leva para ser colhida não pode ser menor que 0.

3.3.2 *Metaheurística*

Das várias abordagens não exatas para problemas com alta complexidade, como o problema de colheita, serão utilizadas no presente trabalho as chamadas Metaheurísticas, pois os mesmos, apesar de não garantir a obtenção do ótimo, apresentam resultados possibilitando resolver problemas maiores, em menor tempo e com melhores soluções. ,

Atualmente existem inúmeras Metaheurísticas que têm fornecido excelentes resultados na resolução de problemas reais. Para a resolução do problema de Otimização de Colheita Agrícola (OTI-AGRI) foram implementados as metaheurísticas Algoritmo Genético, Colônia de formigas e Têmpera Simulada. Nas seções seguintes são apresentadas as metaheurísticas.

Algoritmo Genético

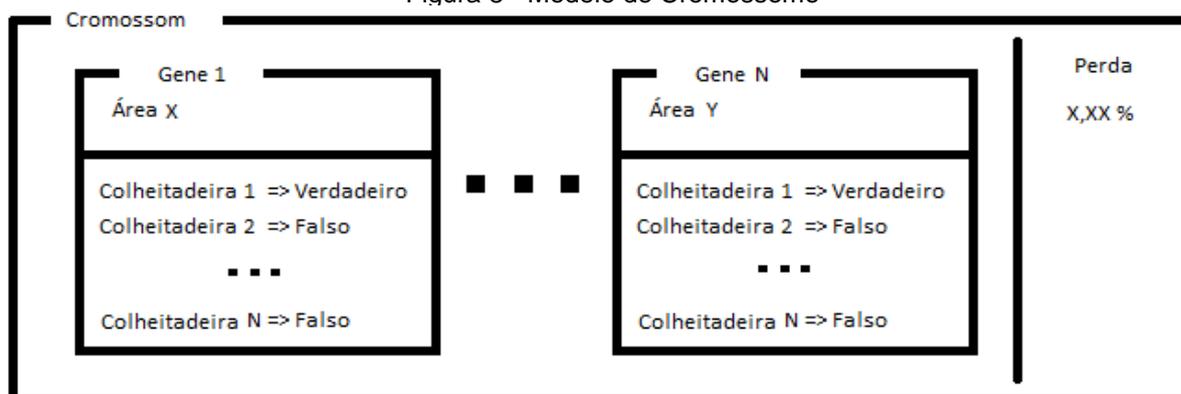
Para este trabalho os mesmo componentes propostos por Pacheco (2011) foram utilizados:

Problema: O problema OGI-SPT consiste em determinar a sequência de áreas que cada colheitadeira deve colher para evitar reduzir ao máximo as perdas decorrentes da colheita em momento inadequado. Já apresentado na Subseção Problema OGI-SPT.

Codificação: Na codificação cada gene do cromossomo é formado pela área e o conjunto de colheitadeiras que colhe a área. Todas as colheitadeiras estão em todos os genes, pois todas as colheitadeiras podem colher a área, contudo somente as que estão com o status como verdadeiro irão colher a área.

O cromossomo é formado por um conjunto de genes e pela qualidade do resultado. A ordem dos genes no cromossomo indica a ordem em que as áreas vão ser colhidas e as colheitadeiras que tem seu status como verdadeiro serão as colheitadeiras que irão colher a área (Figura 8).

Figura 8 - Modelo de Cromossomo



Modelagem do cromossomo utilizada na codificação do GA

Fonte: Autoria Própria

Inicialização da População: O número de indivíduos criados para a população é indicado pelo usuário. A população é criada de forma aleatória, primeiro seleciona-se através de um método randômico a ordem das áreas e através de outro método randômico ele indica se a colheitadeira irá ou não colher a área. A chance que uma colheitadeira tem de colher uma área é de aproximadamente 67%⁵, isso faz com que se tenha mais chances de uma colheitadeira colher a área do que de não colher.

Seleção: O método de seleção utilizado foi a Seleção por torneio, como apresentada em LaMothe (2002). Para usar a seleção por torneio, n indivíduos são selecionados aleatoriamente da população, e então o mais apto desses genomas é escolhido para acrescentar à nova população. Este processo é repetido tantas vezes quanto é necessário para criar uma nova população de genomas.

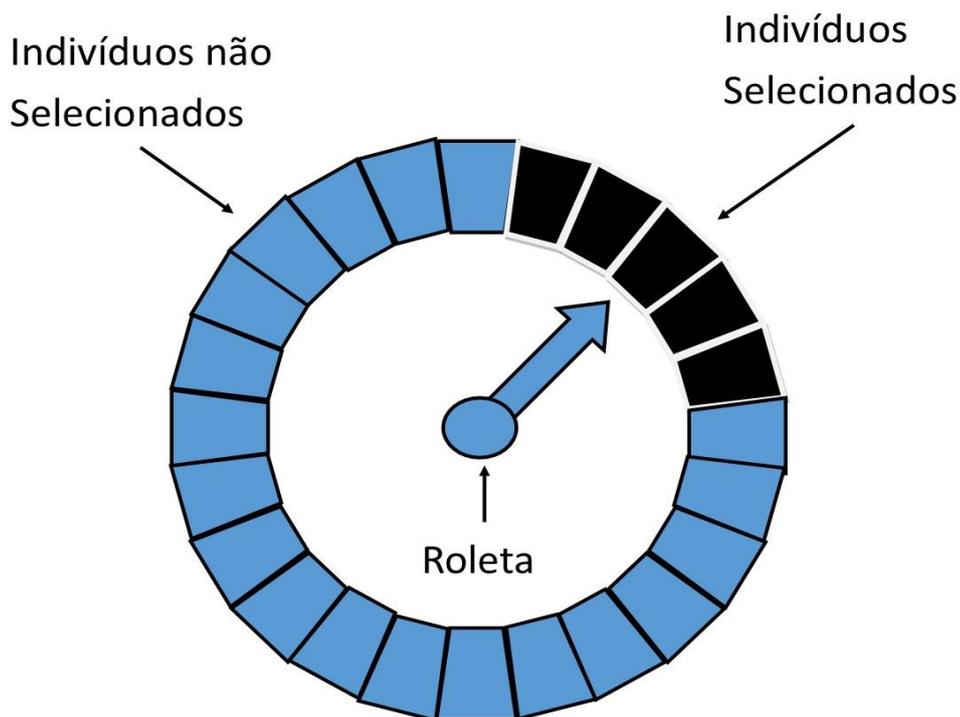
O algoritmo utilizado só se diferencia do proposto por LaMothe (2002). No momento da seleção. Ele utiliza uma roleta para selecionar um conjunto de indivíduos ao redor do ponto onde a roleta parou (Figura 9) e escolhe o melhor dentre eles. Ele não escolhe o indivíduo onde a roleta parou.

Utiliza-se também o processo de elitismo, neste processo o melhor indivíduo sempre é preservado para evitar a perda de bons indivíduos.

Operadores Genéticos: Os operadores genéticos tem a função de fazer o melhoramento dos cromossomos. Essa melhora pode ser feita basicamente com dois operadores, o cruzamento e a mutação.

⁵ O índice de 2/3 foi obtido através de tentativas e erros.

Figura 9 - Seleção de Indivíduos

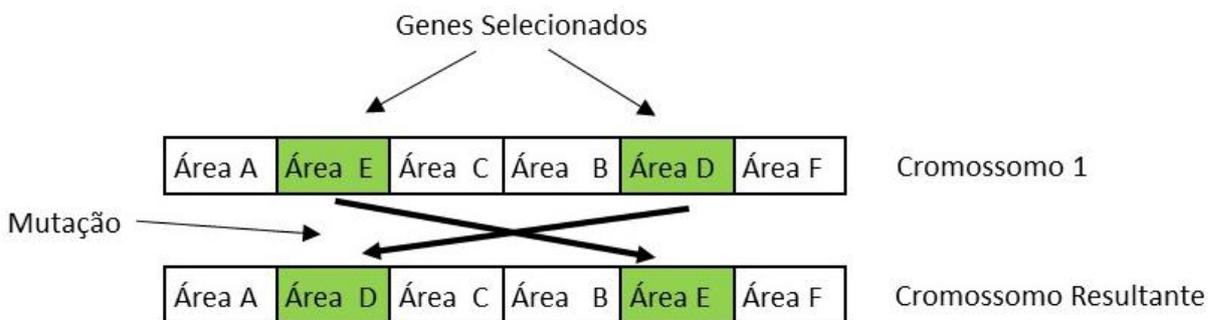


A roleta indica os indivíduos a serem selecionados, e o algoritmo seleciona o melhor indivíduo entre os selecionados.

Fonte: Autoria Própria

A mutação foi implementada em duas partes do gene. A primeira mutação (Figura 10) é feita nas áreas, e a segunda (Figura 11) nas colheitadeiras. Na primeira utilizamos a mutação por mudança, como apresentada por LaMothe (2002). Nela duas áreas são escolhidas e inverte-se suas posições. Na segunda mutação inverte-se o estado da colheitadeira, isso é, caso a mesma estivesse designada para colher a área ela deixaria de colher e caso não estivesse designada ela seria.

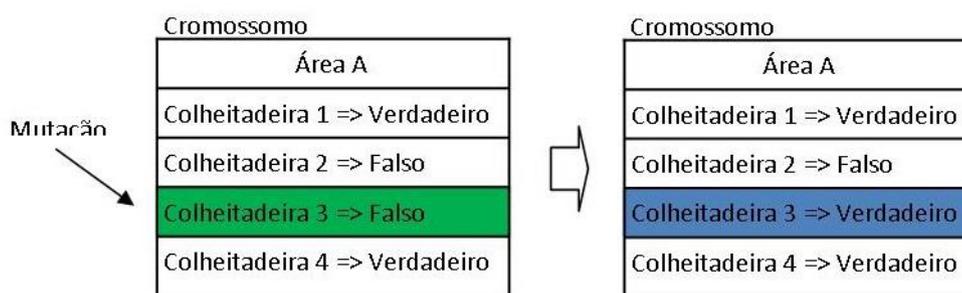
Figura 10 - Mutação em áreas



Exemplo de mutação em áreas

Fonte: (Autoria Própria)

Figura 11 - Mutação em Colheitadeira

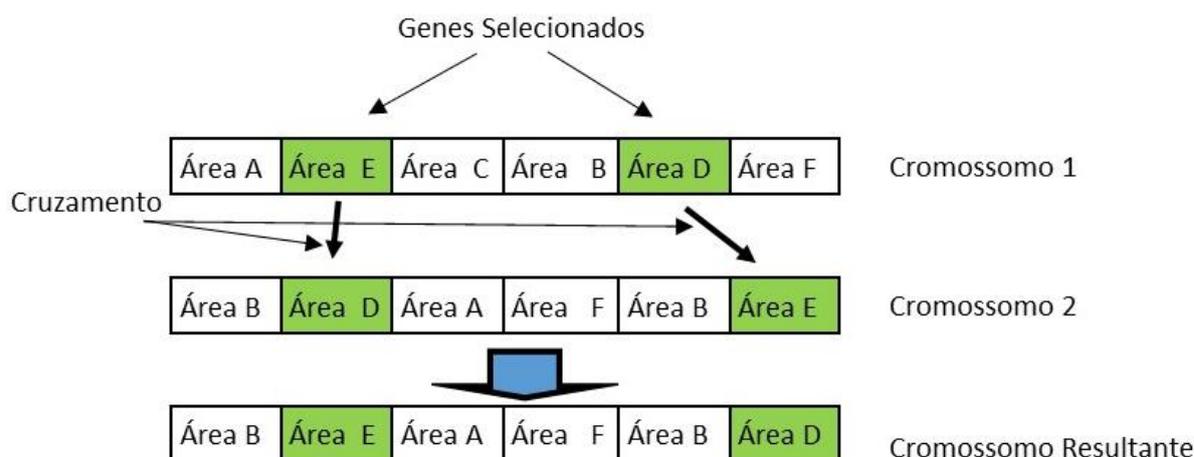


Exemplo de mutação em Colheitadeira

Fonte: (Autoria Própria)

O crossover faz o cruzamento entre dois indivíduos a fim de gerar um terceiro indivíduo. O crossover utilizado para este trabalho foi o cruzamento baseado em ordem. Elementos são selecionados aleatoriamente, é imposta uma ordem nos elementos selecionados do 1º pai igual à ordem dos respectivos elementos no 2º pai (Figura 12).

Figura 12 - Cruzamento



Cruzamento entre genes

Fonte: Autoria Própria

Além dos operadores genéticos tradicionais, esse trabalho propõe uma nova técnica intitulada “melhoramento genético”. Ela é utilizada para calcular o tempo de espera até o início da colheita de uma área. Esse método utiliza força bruta para tentar encontrar o melhor tempo de espera. Nele o tempo de espera começa com zero, o tempo é aumentado e testado até que a qualidade do resultado piore. Isso é feito com todas as áreas.

Avaliação: Calcula a quantidade de perda resultante de uma determinada escolha. O cálculo executado é apresentado na Subseção Modelo Matemático.

Critério de Parada: O critério de parada é o número de interações sem melhora no resultado.

Caso o critério de parada não seja atendido o algoritmo volta para a seleção de indivíduos. Contudo há uma exceção, o usuário pode estipular um número de interações para o algoritmo dar uma “sacudida” na população adicionando novos indivíduos e evitando uma queda na variedade genética. Nesse momento o algoritmo volta para a inicialização da população, criando novos indivíduos e os inserindo na população atual.

Colônia de Formigas

A metaheurística ACO foi adequada para o problema Otimização de Colheita Agrícola (OTI-AGRI) e é apresentada abaixo.

- (1) Primeiro deve ser construída a colônia de formigas (um conjunto de soluções). Para a sua construção foi utilizado um algoritmo guloso adaptado ao problema. Nele a lista de áreas a serem colhidas começa sem nenhuma área, são sorteadas algumas áreas e testadas para verificar qual apresenta o melhor resultado. As chances de uma área ser sorteada depende da quantidade de feromônio da mesma. Todas as áreas começam com 1 de feromônio o que garante que no início todas tenham as mesmas chances de serem selecionadas.
- (2) Com a colônia pronta deposita-se o feromônio das formigas. O feromônio é distribuído individualmente para cada uma das escolhas. Uma escolha é formada por uma área “A”, sendo colhida um uma colheitadeira “C”, na ordem “K”. A quantidade de feromônio depositada em cada escolha depende da qualidade do resultado a que esta escolha está vinculada. A qualidade desta escolha é multiplicada pela taxa de depósito de feromônio, essa taxa é indicada pelo usuário, e o resultado é somado com o feromônio já existente na escolha.
- (3) Após o depósito de feromônio tem-se a evaporação do feromônio. Essa evaporação é feita após todos os depósitos de feromônio e é feita pela multiplicação da taxa de evaporação, informada pelo usuário, por cada

uma das escolhas. Caso o feromônio tenha ficado abaixo de 1 o mesmo é fixado em 1 para evitar que a escolha torne-se proibida.

- (4) Caso o algoritmo esteja com 20 ciclos de atualização sem obter nenhuma melhora de resultados o critério de parada foi encontrado e o melhor resultado é retornado. Caso o critério de parada não tenha sido satisfeito o algoritmo retorna ao primeiro passo.

Têmpera Simulada

A codificação para a têmpera simulada foi feita colheitadeira/área. Onde, uma colheitadeira tem uma sequência de áreas a serem colhidas (Figura 13).

Primeiro o algoritmo de têmpera cria uma lista de soluções, esta lista é criada de maneira aleatória. A temperatura de início é definida pelo usuário, esta temperatura sempre será 100% da distância (número de áreas entre) entre a primeira e a última área.

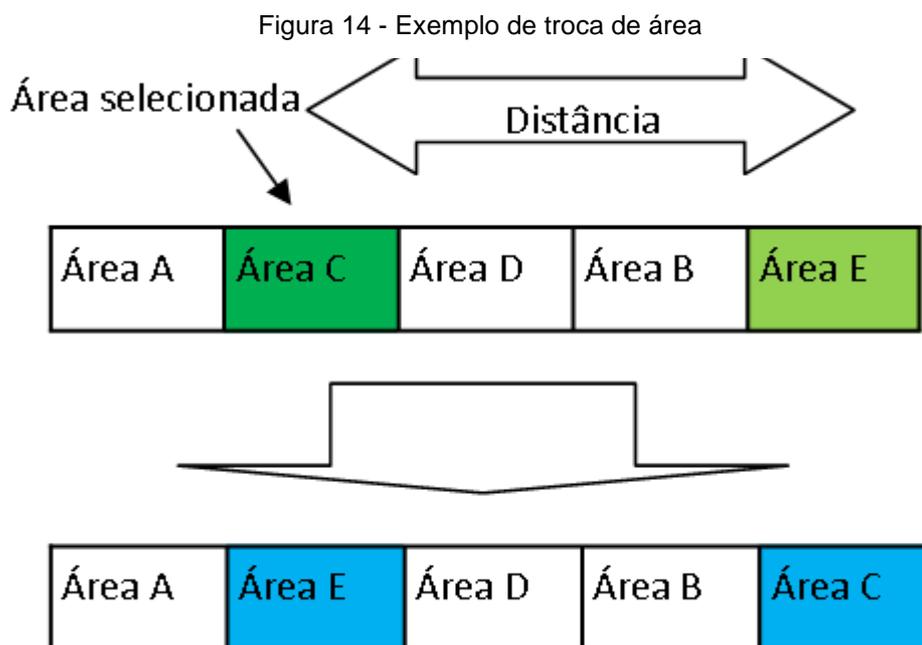
Figura 13 - Resultado Têmpera

Colheitadeira 1	Colheitadeira 2	Colheitadeira 3
Área A	Área B	Área B
Área C	Área A	Área A
Área D		Área C
		Área D

Exemplo fictício de um resultado para o algoritmo de têmpera

Fonte: (Autoria Própria)

Na têmpera simulada uma área é escolhida aleatoriamente e trocada de posição com uma a área que tiver a uma distância “D” da área selecionada. Essa distância “D” vai depender da temperatura.



Exemplo de alteração de áreas.

Fonte: (Autoria Própria)

O algoritmo chega ao fim quando a temperatura atinge 0.

3.3.3 Modelagem do Software

O Software SEO-Agri utilizou arquitetura Orientada a Objeto. E foi desenvolvido sobre o conceito de camadas, utilizando a arquitetura de três camadas (Apresentação, Regras de Negócio e Acesso a Dados). Podemos ver na Figura 15 o diagrama de classe do plug-in, observamos também a separação entre as classes de cada uma das camadas.

Apresentação

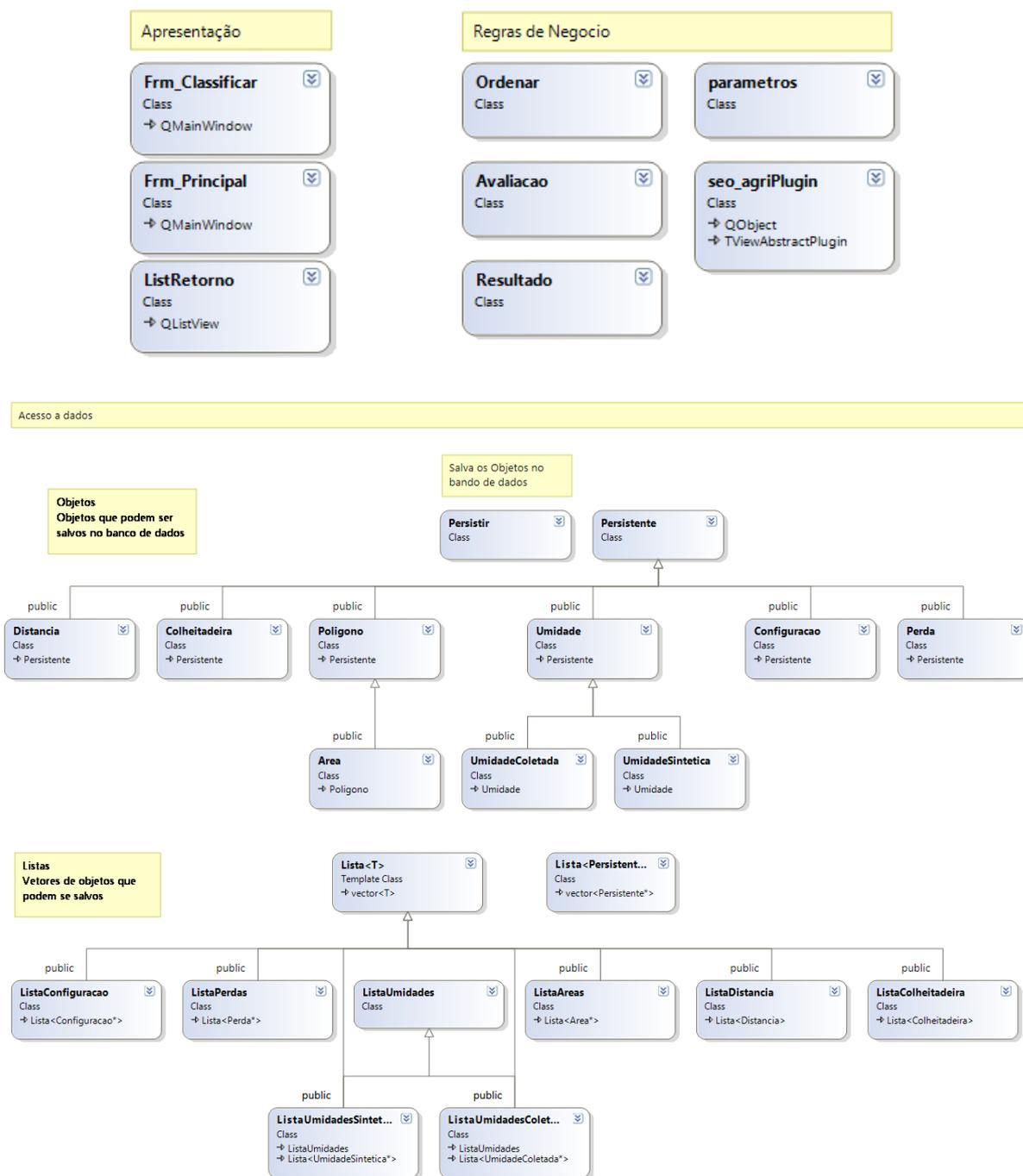
As classes **Frm_Classificar** e **Frm_Principal**, armazenam as telas do programa. A classe **ListRetorno**, cria a janela com os resultados na janela principal do TerraView.

Regras de Negócio

A classe **Ordenar** é uma classe abstrata, ela é estendida pelas classes que contém as metaheurísticas. Todas as classes responsáveis por ordenar as áreas de acordo

com a perda devem estender esta classe, para que possam ser carregados no programa.

Figura 15 - Diagrama de Classes



Ver ampliação nos anexos I, II, III

Fonte: (Autoria Própria)

A classe Ordenar é implementada através de uma DLL que é carregada no momento da execução do plug-in, isso permite que qualquer usuário que deseje

implementar novos modelos matemáticos ou testar novas metaheurísticas possam fazê-lo sem terem que alterar a estrutura do plug-in.

A classe **Avaliar** contém o modelo matemático. Um possível resultado é enviado para esta classe e ela calcula a qualidade do resultado de acordo com o modelo matemático.

A classe **Resultado** armazena um possível resultado, ao carregar esta classe com o possível resultado ela automaticamente calcula a sua qualidade e viabilidade como solução.

A classe **parametros**, é usada para passar todas as informações necessárias para a classificação para a classe que contem a metaheurística.

A classe **seo_agriPlugin** é a classe que faz o link entre o plug-in e o TerraView. Essa classe é criada automaticamente pela extensão “PluginGenerator”, distribuída juntamente com o código fonte do programa TerraView.

Acesso a Dados

Classes que contém instâncias salvas no banco de dados são reunidas em uma superclasse chamada **Persistente**. Essa classe apresenta a estrutura que as classes devem estender para poderem ser salvas.

A classe **configuracoes** reúne as configurações do sistema, a classe **distancia** reúne as distâncias entre as áreas, a classe **colheitadeira** reúne a lista de colheitadeiras disponíveis e suas características, e a classe **perda** contém a relação entre as perdas de grãos e a umidade o grão.

A classe **area** tem o nome e as características da área, pela área ser um objeto espacial e assim conter dados de posição ela é uma subclasse da classe **polígono** do TerraLib. A classe polígono contém os métodos necessários para manipular e salvar os dados geográficos.

A classe **umidade** contém a umidade da área em determinada data. Por conter essas características ela é uma classe temporal. Devido às características do problema exigir que o software faça uma projeção da umidade que uma determinada área vai ter após passado um período de tempo específico (ver a Subseção 3.3.1),

criou-se duas subclasses para facilitar esse trabalho. A primeira é a **umidadeColetada** na área, que guarda as informações coletadas no campo. A segunda é a **umidadeSintetica** que guarda um linear de redução de umidade sintético.

As duas classes podem ser usadas para a projeção da umidade, o que as difere é que ao usar-se a umidade coletada a projeção refletira a situação de uma determinada área, ficando assim sujeita a ruídos nos dados que podem interferir a projeção. Já ao utilizar-se a umidade sintética temos dados em que não existem mais ruídos, contudo eles não refletem mais as especificidades de cada área.

Além da classe Umidade, a classe **Perdas** também deve trabalhar com projeções. No caso das perdas, em muitos momentos precisamos saber qual será a perda pela espera de alguma máquina, sendo preciso saber quais são as perdas a cada momento. Para fazer à projeção em ambas as classes foi utilizado o *Polinômio de Lagrange* (VENDITTI, 2013).

Venditti (2013) diz que:

“O Polinômio de Lagrange (nome dado em razão de Joseph Louis de Lagrange, seu inventor) é o polinômio para interpolação de um conjunto de pontos. Ele tem como ideia principal resolver um problema de interpolação de álgebra linear, no qual há a necessidade de se resolver um sistema matricial. Usando uma base monomial padrão para a interpolação, obtém-se a matriz de Vandermonde. Escolhendo-se outra base, tal como a base de Lagrange, chega-se a um sistema muito mais simples Matriz identidade, que pode ser prontamente resolvido.”

A classe **Persistir** é responsável por armazenar e recuperar os objetos no banco de dados. Ela recebe um objeto do tipo persistente e usa o nome da classe como nome da tabela.

Todas as classes citadas acima contem suas classes **“List”** correspondentes, que representam as tabelas do banco de dados com uma lista de objetos.

3.3.4 Implementação do Algoritmo

O plug-in foi desenvolvido sobre o TerraView 4.2, versão essa a última estável distribuída pelo INPE. Esta versão conta library TerraLib 4.2, e possui distribuições Windows e Linux é implementado utilizando linguagem C++. Optou-se pela plataforma Windows, cujas instruções para a compilação do TerraView e criação de plug-in podem ser encontradas em INPE (2012).

As interfaces do sistema foram criadas com o auxílio do programa Qt Designer 3.2.0. A opção por esse software deu-se pela compatibilidade que o mesmo apresenta com o TerraView 4.2. O Qt Designer 3.2.0 é um software desenvolvido pela Nokia e possui código aberto.

A codificação foi feita com o auxílio do software Microsoft Visual Studio 2010. A escolha do software também se deu pela compatibilidade que o mesmo apresentava com o software TerraView.

Grosmann (2013) traz mais informações sobre o plug-in, documentação, códigos fonte, ajuda e endereço para download.

4 ESTUDO DE CASO

Para a validação dos resultados, três cenários foram propostos, os quais foram lançados no sistema SEO-Agri e os resultados encontrados foram comparados com os resultados das análises de especialistas.

Para a análise, três especialistas foram consultados:

Especialista 1, Dulci Gehring Koenig, 43 anos, Graduada em Agronomia em 1995 pela Universidade de Passo Fundo. Trabalha na agricultura desde a adolescência, tendo passado por Rio Grande do Sul, Paraná, Piauí, Maranhão e Ceara. Atualmente produz soja e colhe para terceiros.

Especialista 2, Adroaldo Welker, 39 anos, natural do Rio Grande do Sul, sempre trabalhou com agricultura. Há 10 anos realiza colheita terceirizada de soja, já colheu em áreas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Bahia, Piauí, Maranhão, Tocantins e na Venezuela.

Especialista 3, Diogo Grosmann, 28 anos, nascido no Rio Grande do Sul, mudou-se para o Piauí com 15 anos de idade e desde então trabalha com agricultura.

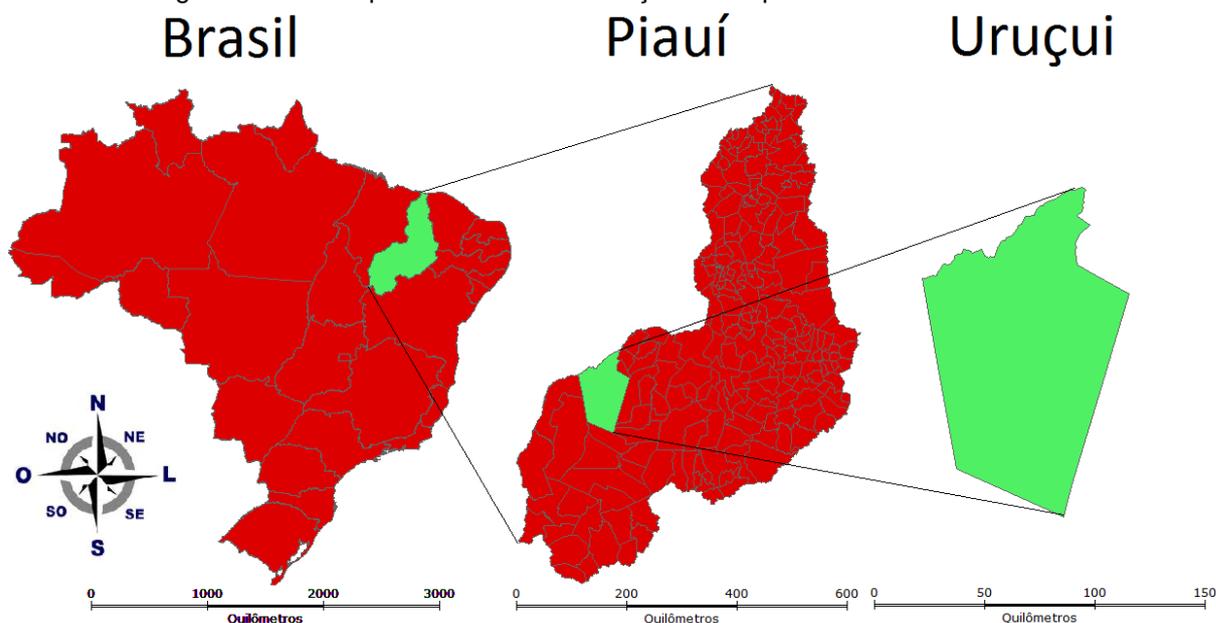
Nas Seções seguintes são apresentados os cenários e os resultados dos testes realizados.

4.1 Experimentos

As áreas utilizadas no estudo são áreas de produção de soja situadas no município de Uruçuí, microrregião do alto Parnaíba, sudoeste do estado do Piauí (Figura 16). O município de Uruçuí possui uma população de 20.623 habitantes segundo estimativas do IBGE em 2012 (IBGE, 2013). A região passou por uma grande entrada de produtores do sul do Brasil em busca de terras baratas e com alta produtividade.

Segundo dados do IBGE (IBGE, 2013), o município foi muito beneficiado com essa entrada de capital externo tendo o seu PIB *Per Capta* aumentado de R\$ 2.891,09 em 2002 para R\$ 22.002,44 por ano em 2010.

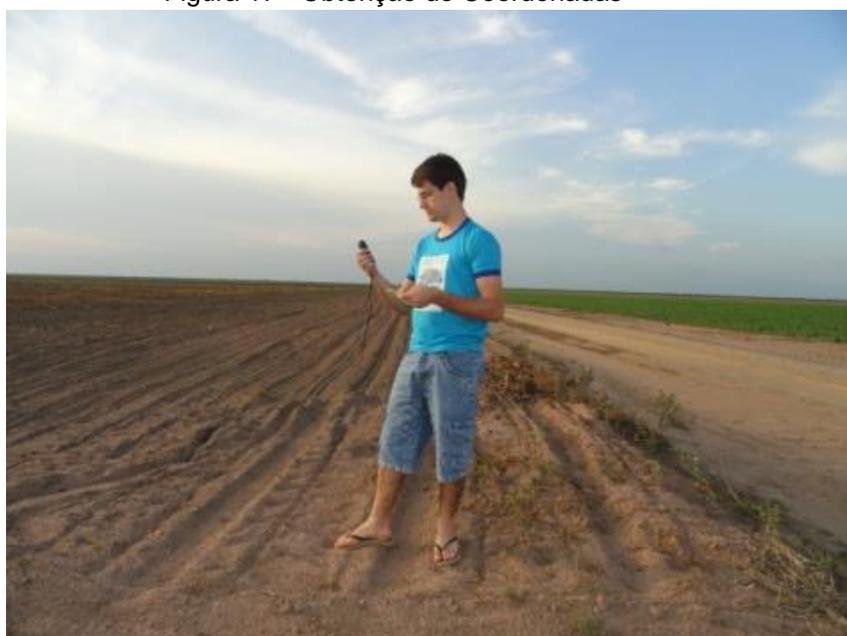
Figura 16 - Município de estudo em Relação ao Mapa do Brasil e do Piauí



Fonte: (Autoria Própria), dados IBGE (2013)

A característica de um município com sua economia altamente vinculada a produção de soja tornou o mesmo uma boa escolha para o desenvolvimento dos estudos. Todas as áreas utilizadas no estudo são áreas reais de produção de soja, e foram mapeadas através de um GPS de mão, conforme vemos na Figura 17.

Figura 17 - Obtenção de Coordenadas

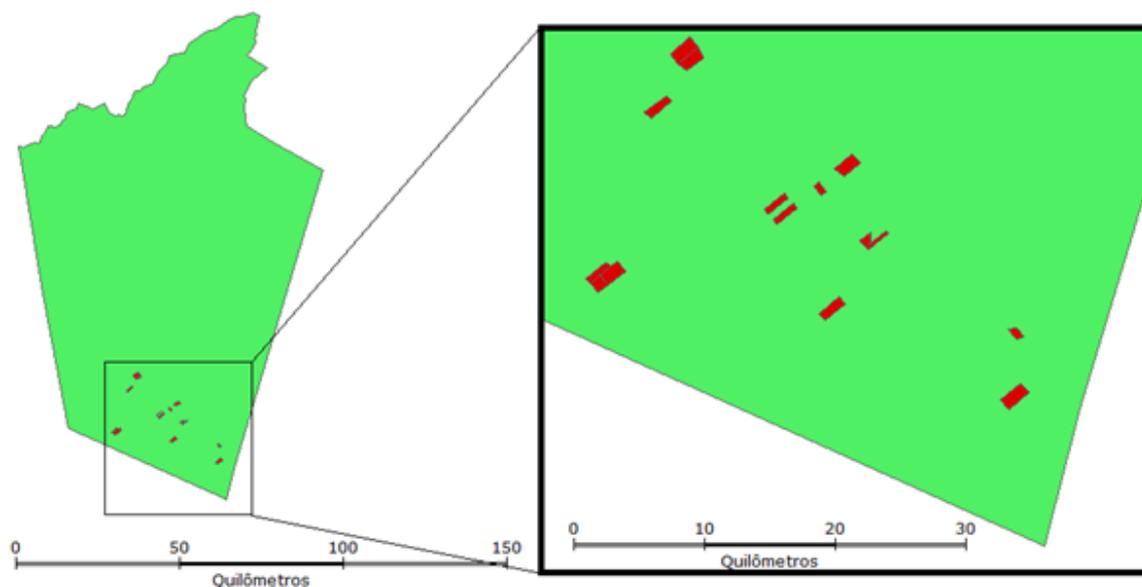


Obtenção de coordenadas de áreas agrícolas

Fonte: (Autoria Própria)

A área total analisada foi de 1.790 ha divididas em 15 áreas. Na Figura 18 podemos ver a dispersão das áreas dentro do município de Uruçuí.

Figura 18 - Dispersão das Áreas no Município de Uruçuí



Fonte: (Autoria Própria)

A Tabela 1 mostra o tamanho de cada uma das áreas e a umidade dos grãos de soja coletados nas mesmas. Nos Anexos IV e V temos as coordenadas das áreas e a tabela de distância entre elas.

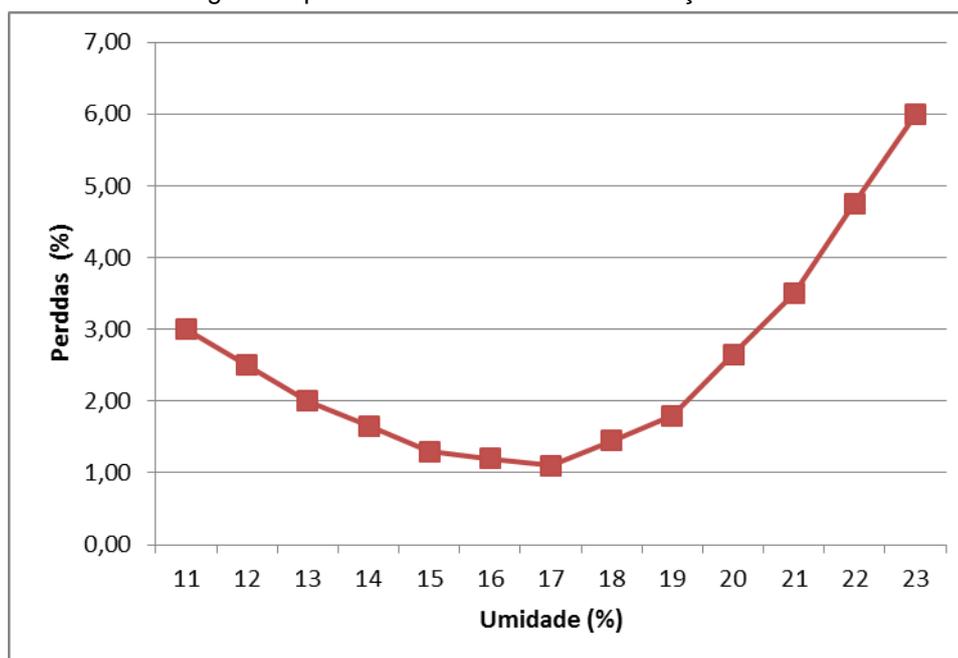
Tabela 1 - Dados das áreas

Área	Tamanho em ha	Umidade
Área 1	100,490	22
Área 2	99,980	25
Área 3	137,192	15
Área 4	48,443	23
Área 5	169,535	24
Área 6	67,937	25
Área 7	51,828	24
Área 8	143,750	22
Área 9	196,802	23
Área 10	54,851	19
Área 11	173,156	25
Área 12	101,606	16
Área 13	90,879	19
Área 14	203,087	20
Área 15	149,673	18

Fonte: (Autoria Própria)

As perdas da colheita utilizadas nos experimentos foram as mesmas especificadas no trabalho de Hamer e Peske (1997), que foi apresentada na Subseção Trabalhos relacionados. Este trabalho apresenta as perdas na colheita em diferentes níveis de umidade (Figura 19).

Figura 19 - Percentagem de perda durante a colheita em função da umidade da semente



Fonte: (HAMER e PESKE, 1997)

A configuração das colheitadeiras utilizadas para o experimento são as mesmas utilizadas pela empresa de colheita “Welker Colheitas”. Na Tabela 2 vemos a configuração das 6 máquinas da empresa utilizadas no experimento.

Tabela 2 - Tabela de colheitadeiras

Identificador	Colheitadeira	ha/dia
1	Massey 6855	28
2	Massey 6855	28
3	Massey 6855	28
4	Massey MF34	35
5	New Holland 5090	35
6	John Deere STS 9650	50

Fonte: Welker Colheitas

Como taxa de redução de umidade a base utilizada foi a redução de 1 % por dia. Essa taxa foi obtida ao analisar a redução média da umidade das áreas 1 a 7 apresentadas anteriormente, na safra 2011/2012.

Para os experimentos três cenários foram utilizados. Todos os cenários utilizaram taxa de redução de umidade e taxa de perdas iguais.

Cenário 1: Áreas de 1 a 7, e as Colheitadeiras 1, 2 e 3.

Cenário 2: Áreas de 1 a 11, e as Colheitadeiras 1, 2, 3 e 4.

Cenário 3: Áreas de 1 a 15, e as Colheitadeiras 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

4.2 Resultados

Os cenários apresentados na Seção anterior foram analisados usando Algoritmo Genético, Têmpera Simulada e Colônia de Formigas. Foram analisados também pelos especialistas, com anos de experiência no cultivo da soja.

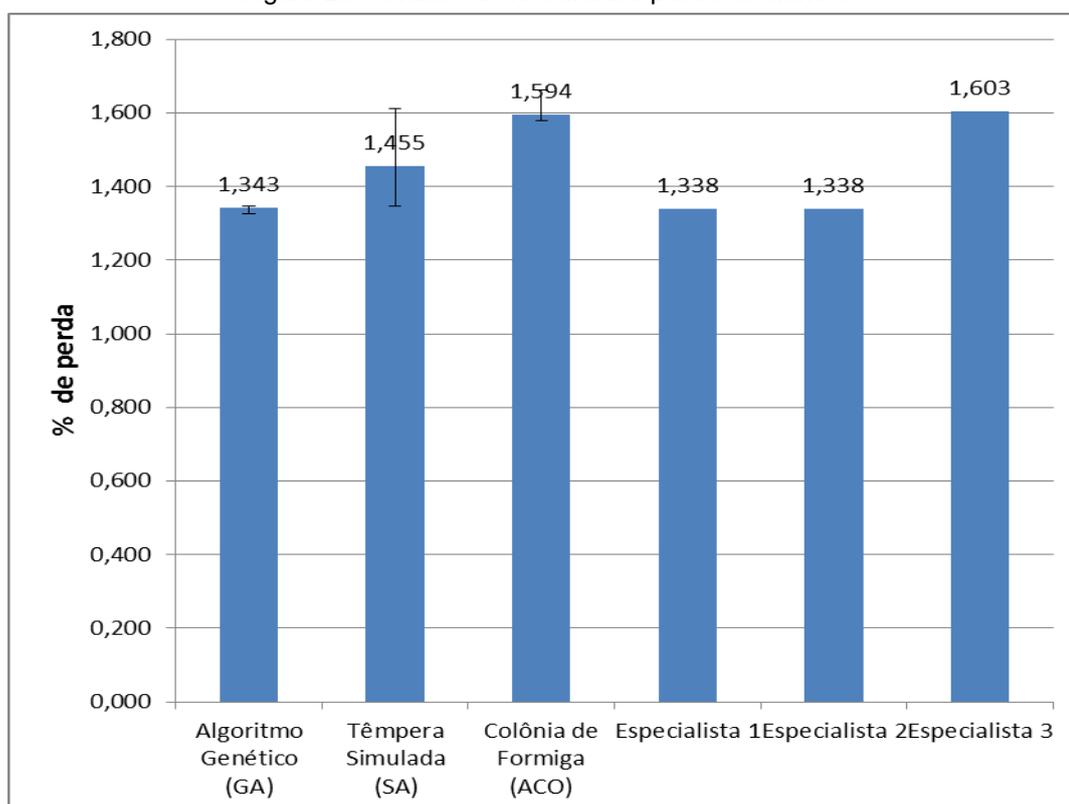
Para cada cenário os algoritmos foram testados 10 vezes. Sobre os resultados calculou-se a média interna de 80% dos valores, eliminando assim os 10% maiores e 10% menores, retirando assim ruídos (a relação completa dos resultados encontra-se no Anexo VI).

Todos os resultados são organizados em gráficos que mostram o resultado de cada método em cada cenário bem como o maior e o menor valor obtido pelo método.

4.2.1 Cenário 1

O cenário 1 é o cenário onde apresenta-se a configuração mais simples e com menos máquinas. Seus resultados podem ser vistos na Figura 20.

Figura 20 - Gráfico de Resultados para o Cenário 1



Fonte: (Autoria Própria)

O Figura 20 mostra que o Algoritmo Genético apresentou em média resultados muito similares aos encontrados pelos Especialistas 1 e 2, tendo seu melhor resultado sido inferior os encontrados pelos Especialistas.

O Algoritmo Genético teve um desempenho 7,697% melhor que a Têmpera Simulada, 15,74% menor que a Colônia de Formigas e 0,373% pior que o melhor especialista.

Tabela 3 - Melhor Resultado para o Cenário 1

Perda	1,327%
Área Espera	
Massey 6855	
3	0
5	0
7	0
2	0
Massey6855	
3	0
1	0
5	0
7	0
6	0
2	0
Massey 6855	
3	0
4	0
5	0
6	0
2	0

Fonte: (Autoria Própria)

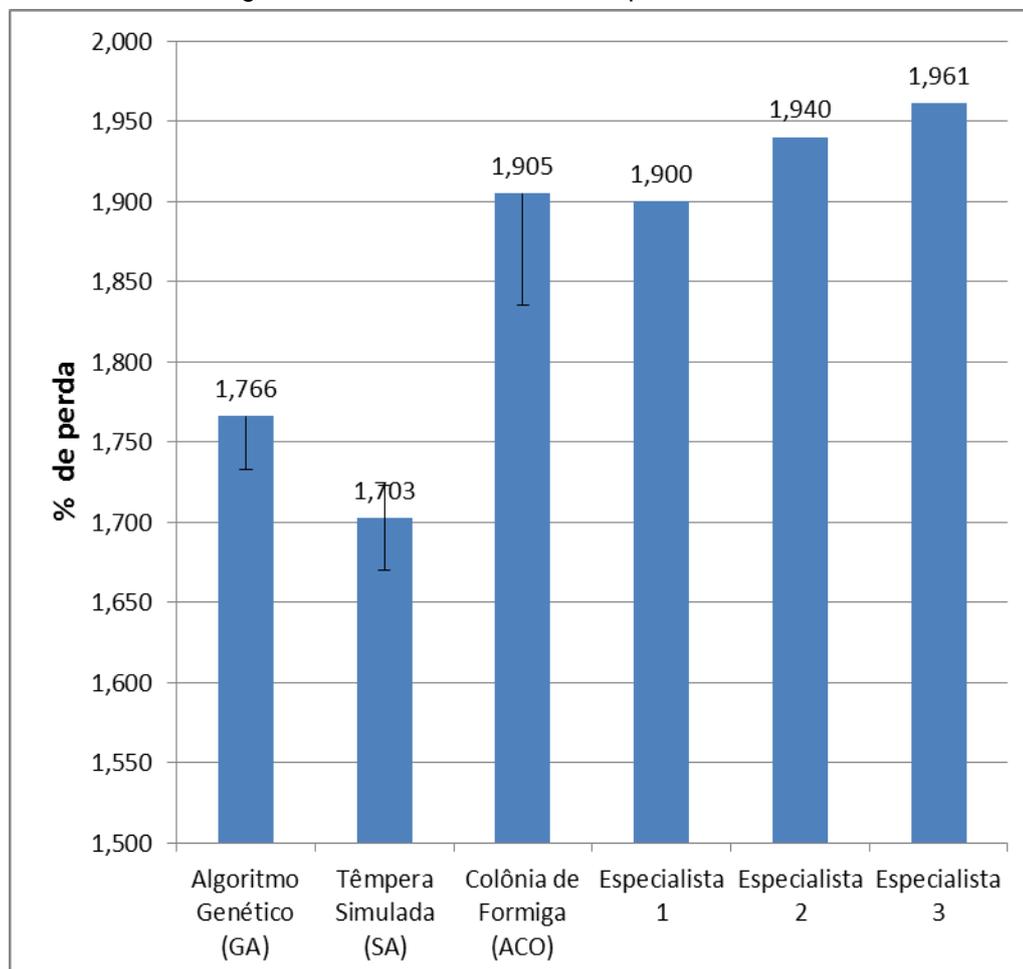
Os outros algoritmos apresentaram resultados menos convincentes que os resultados apresentados pelo algoritmo genético, contudo ainda conseguiram médias melhores que as encontradas pelo especialista 3.

4.2.2 Cenário 2

No Cenário 2 a complexidade aumenta um pouco, o número de áreas e colheitadeiras sofre um aumento o que causa uma maior dificuldade da visualização

do problema sem a utilização de ferramentas computacionais. Podemos ver isso na Figura 21.

Figura 21 - Gráfico de Resultados para o Cenário 2



Fonte: (Autoria Própria)

Na Figura 21 podemos ver que com o aumento da complexidade do problema os algoritmos começaram a ter um desempenho melhor do que as escolhas humanas. Com a exceção do algoritmo colônia de formiga que não obteve o sucesso esperado.

O algoritmo Têmpera Simulada teve um desempenho 3,567% melhor que o Algoritmo Genético, 10,603% menor que a Colônia de Formigas e 10,368% melhor que o melhor especialista.

Neste Cenário o algoritmo de Têmpera Simulada obteve o melhor desempenho dentre todos. Conseguindo atingir em sua melhor execução uma perda de 1,688% como podemos ver na Tabela 4.

Tabela 4 - Melhor Resultado para o Cenário 2

Perda		1,688%
Área		Espera
Massey 6855		
	8	0
	5	2
	2	7
	7	8
	6	8
	11	10
	4	12
Massey 6855		
	10	0
	9	2
	7	8
	11	10
	4	12
Massey 6855		
	10	0
	5	2
	9	2
	6	8
	11	10
	4	12
Massey MF34		
	3	0
	1	4
	2	7
	7	8
	6	8
	11	10
	4	12

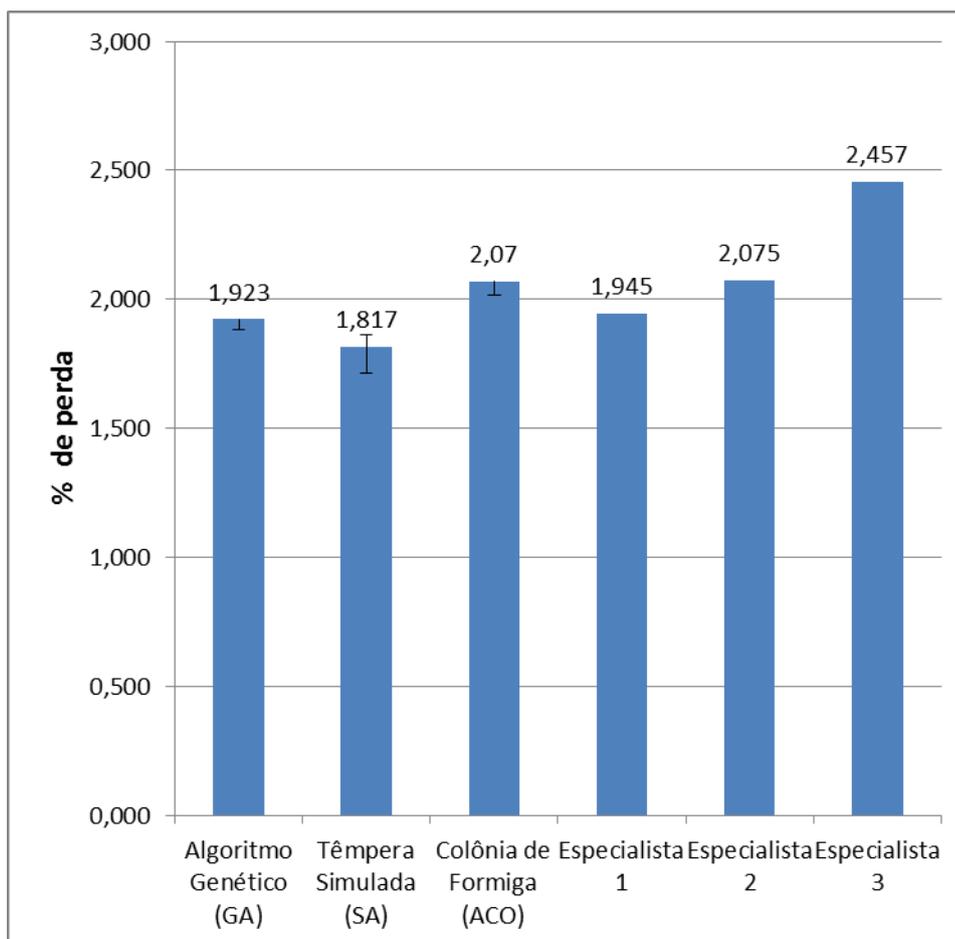
Fonte: (Autoria Própria)

Tanto no Algoritmo Genético como no Colônia de Formigas, em algumas execuções o software apresentaram travamentos ou não encontraram uma solução para o problema. Os dois algoritmos necessitam executar muitas vezes o cálculo de perdas, e conforme o número de áreas cresce este cálculo se torna maior e mais complexo para se fazer, tornando a execução do programa mais lenta, chegando até mesmo a travar a máquina em alguns momentos.

4.2.3 Cenário 3

O terceiro e ultimo Cenário é o mais complexo de todos, ele já envolve um número considerável de áreas e de máquinas tornando-se assim muito difícil de visualizá-lo como um todo no momento de encontrar-se a solução.

Figura 22 - Gráfico de Resultados para o Cenário 3



Fonte: (Autoria Própria)

Vemos no Figura 22 que mais uma vez o algoritmo de maior destaque foi o Têmpera simulada obtendo um resultado 5,34% menor que o algoritmo genético 12,22% menor que o algoritmo Colônia de Formiga e 6,58% menor que o melhor especialista. Tivemos a menor perda encontrada também pelo algoritmo de Têmpera Simulada, tendo sua perda ficado em 1,715%, esse resultado pode ser visto na Tabela 5.

Neste cenário a instabilidade dos algoritmos aumentou muito, o Algoritmo Genético e o Colônia de Formiga apresentaram muitos travamentos. Muitas vezes

tendo sua execução interrompida pelo sistema operacional. As suas execuções foram muito lentas chegando a levar mais de 4 horas em algumas situações.

Tabela 5 - Melhor Resultado para o Cenário 3

Perda	1,715%
Área	Espera
Massey 6855	
13	0
15	4
2	6
9	8
Massey 6855	
10	1
15	4
5	4
7	8
9	8
Massey 6855	
12	0
8	4
11	9
Massey MF34	
3	0
6	2
5	4
8	4
9	8
New Holland 5090	
3	0
1	3
4	6
11	9
John Deere STS 9650	
14	0
15	4
2	6
7	8
11	9

O mesmo não ocorreu com a Têmpera Simulada, o algoritmo não apresentou travamentos e teve suas soluções encontradas em menos de 10 minutos em todas as execuções.

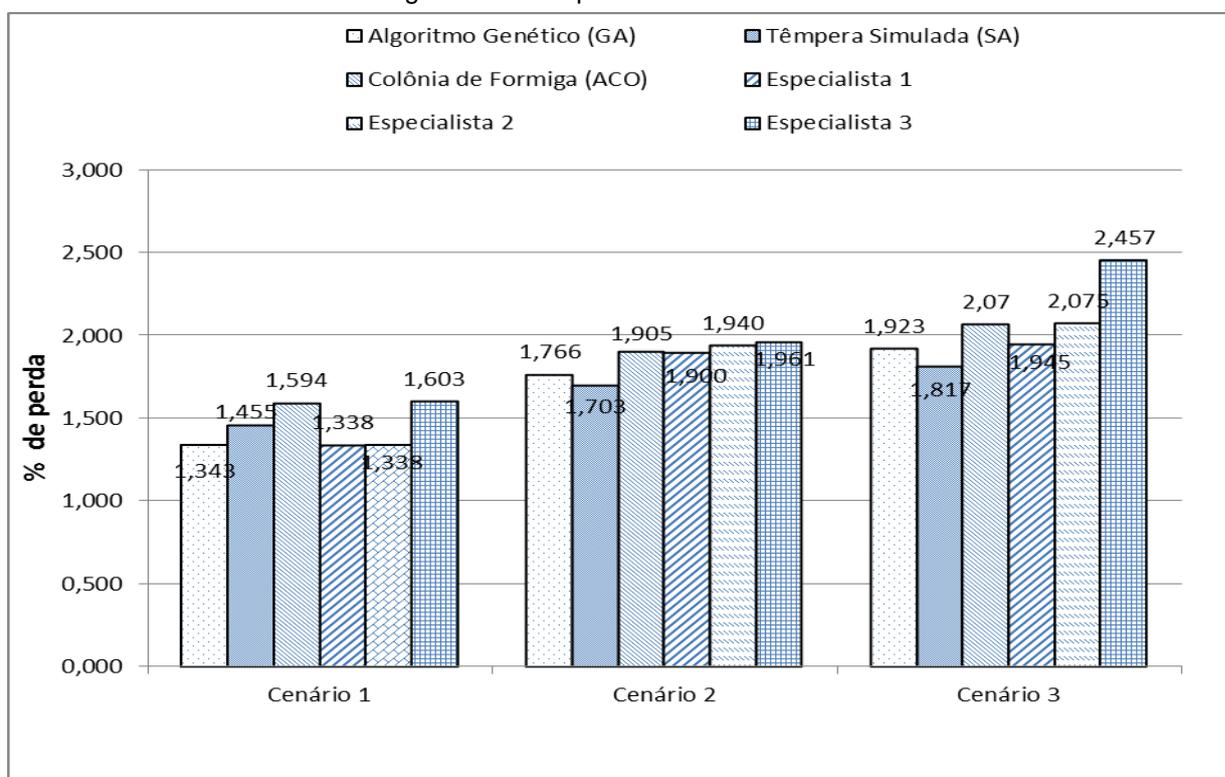
4.3 Discussão

Os algoritmos apresentaram boas soluções, como podemos ver na comparação do Figura 23. Pode-se ver que em todos os cenários ou o algoritmo foi competitivo com os especialistas ou superou os mesmos.

No primeiro cenário o Algoritmo Genético apresentou os melhores resultados seguidos do Têmpera Simulada e por último o Colônia de Formigas. Contudo esse bom rendimento do Algoritmo Genético não foi mantido com um número maior de área sendo gradualmente superado pelo Têmpera Simulada.

Outro fator que desfavorecem o Algoritmo Genético é que ele verifica muito a qualidade dos resultados obtidos e com um número maior de áreas essa verificação contínua causa uma perda de desempenho no algoritmo. O mesmo ocorre com o algoritmo de Colônia de Formigas, que em muitos casos chegou a travar todo o Sistema Operacional.

Figura 23 - Comparativo de Resultados



Fonte: (Autoria Própria)

Se analisarmos as médias das escolhas dos especialistas teremos uma média de 1,423%, 1,933% e 2,159% respectivamente. Sendo que nos dois últimos cenários todos os algoritmos superaram os resultados da análise dos especialistas.

O algoritmo Têmpera simulada foi em média 9,64% melhor que os resultados dos especialistas. Seguido do Algoritmo Genético que foi 8,61% melhor. O algoritmo colônia de formiga foi 1,16% pior que as escolhas dos especialistas.

Percebe-se que quanto maior for o número de áreas maior serão os ganhos da utilização destes algoritmos. Se levarmos em conta que segundo a CONAB (2013) a produção média de soja por ha para a safra de 2012/13 será de 3.023kg/ha (50,21 sacas de 60 kg /ha) e o preço médio em 20 de fevereiro de 2013 foi de R\$ 56,00 a saca de 60 kg segundo a BM&F BOVESPA (2013). Vemos que:

Cenário 1 – obteve-se uma perda média entre os especialistas de 1,421% ou R\$ 39,95 por ha. Já a perda média conseguida pelo Algoritmo Genético foi de 1,343% ou R\$ 37,76. Conseguindo assim uma redução de R\$ 1.479,12.

Cenária 2 – obteve-se uma perda média entre os especialistas de 1,934% ou R\$ 54,37 por ha. Já a perda média conseguida pela Têmpera Simulada foi de 1,703% ou R\$ 47,88. Conseguindo assim uma redução de R\$ 7.873,30.

Cenário 3 – obteve-se uma perda média entre os especialistas de 2,159% ou R\$ 60,70 por ha. Já a perda média conseguida pela Têmpera Simulada foi de 1,871% ou R\$ 52,60. Conseguindo assim uma redução de R\$ 14.492,60.

Nestas circunstâncias, temos uma redução média nos três cenários de R\$ 6,50 por ha. Hoje no Brasil estima-se uma área plantada de 27,3 milhões de ha. Assim sendo, se a técnica for aplicada em todo o território nacional, teremos um ganho de R\$ 242,45 milhões através de redução de perdas.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma solução de software para ajudar agricultores na tomada de decisão sobre em que ordem áreas agrícolas devem ser colhidas. Para isso foi proposto um modelo matemático que quantifica as perdas pela colheita de soja em momento inadequado e foi criada uma solução em software que garantiu agilidade e precisão na escolha das sequencias de colheita.

O modelo matemático utilizada pelo Sistema para Otimização de Colheita Agrícola traz uma grande evolução no entendimento de problemas de perdas agrícolas. Até o presente trabalho não foram encontrados estudos sobre a perda gerada por escolhas ruins na colheita da soja, assim o SEO-Agri se torna pioneiro neste tipo de cálculo.

O modelo por si só já ajuda muito agricultores a fazerem suas escolhas, tendo parâmetros para definir o que é bom e o que não é para suas áreas. Ele mostrou-se de grande relevância para auxiliar, principalmente, novos agricultores que não tem experiência com a colheita de soja. Ajudando os mesmos a definir qual a sequência de áreas lhe traria melhor rendimento na colheita.

O uso de tecnologia na agricultura não é algo novo, existem muitas aplicações de software tentando melhorar a produtividade agrícola, mas pouco se pesquisa sobre como não perder o que já foi produzido. Assim, este trabalho também abre um leque de oportunidades de pesquisa em uma área já bastante estudada.

A abordagem metaheurística proposta para o problema de Otimização de Colheita Agrícola apresentou bons resultados práticos, quando comparados á análise realizada por especialistas com anos de experiência na colheita agrícola, visto que conseguiu melhorias em média 6% superiores aos resultados conseguidos pelo método tradicional de escolha. Nos piores casos, igualou-se ao método tradicional, não trazendo prejuízos com sua utilização.

Todos os resultados obtidos pelo Algoritmo Genético e Têmpera Simulada foram menores que 2%, o que condiz com a perda mínima que Silveira (1990) recomenda e, se considerarmos uma produção de 50 sacas/ha fica abaixo também de 1 saca/ha defendidas pela Embrapa (1996).

Apesar de terem sido encontradas melhorias comparando-se aos métodos tradicionais, eles não devem ser substituídos, pois existem variáveis que não foram consideradas no trabalho, como estado mecânico das máquinas, tipo de solo da área, tipos de máquinas mais indicadas para a área, regulagem das máquinas na mudança de área.

O software SEO-Agri ainda encontra-se como protótipo e, por isso, deve ser melhorado para uso efetivo no mercado.

O tempo levado para que o melhor resultado seja encontrado é muito grande, chegando a mais de 4 horas em cenários com 15 áreas e uso de algoritmo genético, o que pode deixá-lo pouco atrativo para alguns usuários finais.

As interfaces ainda devem ser aperfeiçoadas para que o usuário tenha uma maior facilidade de uso. Novos recursos devem ser agregados frente à demanda dos agricultores.

No futuro pretende-se aperfeiçoar o protótipo SEO-Agri, diminuindo o tempo de processamento e melhorando os seus resultados. Um recurso desejável é apresentar o número ideal de colheitadeiras a serem utilizadas na colheita das áreas. Outra contribuição relevante seria definição de rotas para as colheitadeiras e horários em que poderão trafegar.

Além disso, identificar a umidade de áreas de lavoura através da utilização de sensoriamento remoto possibilitaria que o agricultor pudesse conhecer a umidade de sua área sem ter de se deslocar até a mesma para isso.

Verificar a utilização do modelo para outras culturas como o milho e o arroz, também apresentaria grandes avanços devido à dimensão das áreas plantadas e respectivas perdas.

Testar a possibilidade de uso do modelo para identificar momentos ideais de plantio, fazendo com que o mesmo encontre a melhor sequência de áreas a serem plantadas com base na umidade ideal de plantio também é um recurso desejável e importante.

6 BIBLIOGRAFIA

AUERNHAMMER, H. Special Issue: Global Positioning Systems in Agriculture, v. 11, n. 1º, 1994.

BAUER, F. C.; GONZATTI, G. C. Efeito da umidade das sementes sobre as perdas quantitativas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no processo de colheita mecanizada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, 24, n. 4, 2007. 503-506.

BM&F BOVESPA. BM&F Bovespa. **BM&F Bovespa**, 2013. Disponível em: <www.bmfbovespa.com.br>. Acesso em: 20 Fevereiro 2013.

COMMITTEE ON ASSESSING CROP YIELD: SITE-SPECIFIC FARMING, INFORMATION SYSTEMS, AND RESEARCH OPPORTUNITIES, NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Dimensions of Precision Agriculture. In: _____ **Precision Agriculture in the 21st Century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management**. 1ª. ed. Washington: DC: The National Academies Press, v. I, 1997. Cap. 1, p. 16-43. ISBN 9780309058933. Disponível em: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=5491>.

CONAB. Balanço Social. **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 14 agosto 2012.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento**, Março 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_09_10_58_55_boletim_portugues_agosto_2012.pdf>. Acesso em: 14 agosto 2012.

CONAB. Boletim de Safra de Grãos 2012/13. **Compania Nacional de Abastecimento (CONAB)**, 13 Janeiro 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_09_10_58_55_boletim_portugues_agosto_2012.pdf>. Acesso em: 29 Janeiro 2013.

DIEHL, S. R. L.; JUNQUETTI, M. T. D. G. Soja. **Agrobyte - Semeando Informações**, 2012. Disponível em: <<http://www.agrobyte.com.br/soja.htm>>. Acesso em: 14 agosto 2012.

DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. **IEEE Trans. Syst. Man Cybern. B**, 1 Fevereiro 1996. 29-41.

DPI - INPE. SPRING. **SPRING**, 2012. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em: 21 março 2013.

EMBRAPA. **Soja: Recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Dourados. 1996.

EMBRAPA. **Sistema de Infomação Geografica: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA SPI/ EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.

EMBRAPA. A Soja no Brasil. **Embrapa Soja**, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 16 agosto 2012.

EMBRAPA. Usos da Soja. **EMBRAPA - SOJA**, 2009. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=25&cod_pai=29>. Acesso em: 29 Janeiro 2013.

EMBRAPA. O uso de colheitadeira Automotriz em Plantas Forrageiras. **Embrapa Gado de Corte**, 2010. Disponível em: <<http://www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/ct/ct06/02uso.html>>. Acesso em: 16 agosto 2012.

ESRI. Mapping & Analysis for Understanding Our World. **ArcGIS**, 2013. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/arcgis>>. Acesso em: 21 março 2013.

FAO. Home page FAO. **Oganização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**, 29 Janeiro 2013. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/>>. Acesso em: 14 agosto 2012.

FERREIRA, N. C. **Sistema de Inrmação Geográfica**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Goiânia, p. 113. 2006.

FIDA. Home page FIDA. **Fundo Internacional para o Desenvolvimento da Agricultura**, 29 Janeiro 2013. Disponível em: <<http://www.ifad.org/english/operations/pl/bra/index.htm>>. Acesso em: 1e agosto 2012.

GLISSON, A. Reviews and Abstracts Practical Genetic Algorithms. **Antennas and Propagation Magazine, IEEE**, 40, outubro 1998. 92-93.

GOLDBERG, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. **Hardcover**, 11 Janeiro 1989. Disponível em: <<http://www.amazon.com/exec/obidos/redirect?tag=citeulike07-20&path=ASIN/0201157675>>.

GROSMANN, D. SEO-Agri. **SEO-Agri**, 21 fevereiro 2013. Disponível em: <<http://www.diegogrosmann.xpg.com.br/seo-agri/index.html>>. Acesso em: 22 fevereiro 2013.

GUIMARÃES, R. V. **Aplicação de Geoprocessamento para Aumento da Eficiência de Percursos em Operações Agrícolas na Cultura de Cana-de-Açúcar**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, p. 98. 2004. Dissertação de Mestrado em Agronomia com Concentração em Máquinas Agrícolas.

GUIMARÃES, R. V.; RAFFO, J. G. D. G. Utilização de Sistema de Informações Geográficas para o planejamento da base física na cultura da cana-de-açúcar.

Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 16-21 abril 2005. 167-172.

HAMER, E.; PESKE, S. T. Colheita de Sementes de Soja Com Alto Grau de Umidade. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 106-110, 1997. ISSN ISSN 0101-3122.

HOUAISS. **Dicionário Eletrônico Houaiss da Língua Portuguesa**. Instituto Antônio Houaiss. Software. 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Índices de perdas do plantio à pré-colheita dos principais grãos cultivados no País 1996-2002**, 2005. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/indicadoresagro_19962003/comentarios.pdf>.

IBGE. IBGE. **IBGE**, 20 Janeiro 2013. Disponível em: <www.ibge.gov.br>.

INAMASU, R. Y. et al. **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. 1ª. ed. São Carlos: Embrapa Instrumentação, v. I, 2011. 331 p. ISBN 978-85-86463-31-0. Disponível em:

<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/publicacoes/publicacoes-da-rede-ap/capitulos>.

INPE. Construindo plugins para o TerraView. **TerraView**: : DPI/INPE, 2012. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terraview/php/plugin.php?body=PluginsConstrucao>>. Acesso em: 17 agosto 2012.

INPE. TerraView 4.2.0. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/terraview>. Acesso em: 29 Janeiro 2012.

IPEA. Desperdício- Custo para todos - Alimentos apodrecem enquanto milhões de pessoas passam fome. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 2007. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=1256:reportagens-materias&Itemid=39>. Acesso em: 29 Janeiro 2013.

JARDINE, C. Quando a produção não vai para o saco. **A Granja**, Porto Alegre, v. 58, p. 12 - 19, março 2002.

LAMOTHE, A. **AI Techniques for Game Programming**. Cincinnati: Premier Press, 2002. ISBN 1-931841-08-X.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Sistema da Informação com Internet**. [S.l.]: [s.n.], 1999. 4 p.

LIMA JUNIOR, F. C. D. **Otimização do Gerenciamento das Intervenções em Poços de Petróleo por Sondas de Produção Terrestre: Uma abordagem Metaheurística**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. Natal, p. 100. 2002. Dissertação para o Mestrado em Sistemas e Computação.

ONU. Relatório sobre a fome no mundo em 2011: volatilidade e alta dos preços devem continuar. **Organização das Nações Unidas - Brasil**, 10 outubro 2011. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/relatorio-sobre-a-fome-no-mundo-em-2011-volatilidade-e-alta-dos-precos-devem-continuar/>>. Acesso em: 2012 agosto 14.

ONU. The State of Food Insecurity in the World. 2011. **Organização das Nações Unidas**, 10 outubro 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/014/i2330e/i2330e00.htm>>. Acesso em: 14 agosto 2012.

ONU. Home Page ONU. **Organização das Nações Unidas - Brasil**, 14 Janeiro 2013. Disponível em: <<http://www.onu.com.br>>. Acesso em: 14 agosto 2012.

OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION. Welcome to the Quantum GIS Project. **Quantum GIS**, 2013. Disponível em: <<http://www.qgis.org/http://www.qgis.org/>>. Acesso em: 21 março 2013.

PACHECO, M. A. Algoritmos Genéticos: Princípios e Aplicações, setembro 1999. 1-9. Acesso em: 17 novembro 2011.

PACHECO, M. A. Notas de Aula em Computação Evolucionária. **Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**, 2011. Disponível em: <<http://www.ica.ele.puc-rio.br/home/index.rails>>. Acesso em: 17 novembro 2011.

PITZ, J. C.; FIGEIREDO, D. D. **Sistema de Informações Geográficas**. Universidade Federal de Santa Catarina. [S.I.], p. 3. 2001.

PMA. Home Page PMA. **Programa Mundial de Alimentos**, 29 Janeiro 2013. Disponível em: <<http://www.wfp.org/portuguese/>>. Acesso em: 2012 agosto 14.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. New Jersey: Pearson Education, 2010. ISBN 978-0-13-606738-2.

SANTOS, D. T. D. **Farinhas de Grãos: Características e Aplicação**. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, p. 35. 2008.

SILVEIRA, G. M. **As máquinas para colheita e transporte**. São Paulo: Globo, 1990. Coleção do agricultor, Mecanização; Publicações Globo Rural; Ilus.

SILVEIRA, G. M. D. **Máquinas para Colheita e Transporte**. Viçosa: Aprenda Fácil, v. 4, 2001. 292 p. ISBN 85-88216-06-X.

SOUZA, V. C. O. D.; VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R. **Uso do Sistema de Informação Geográfica para a Implementação de um Banco de Dados da**

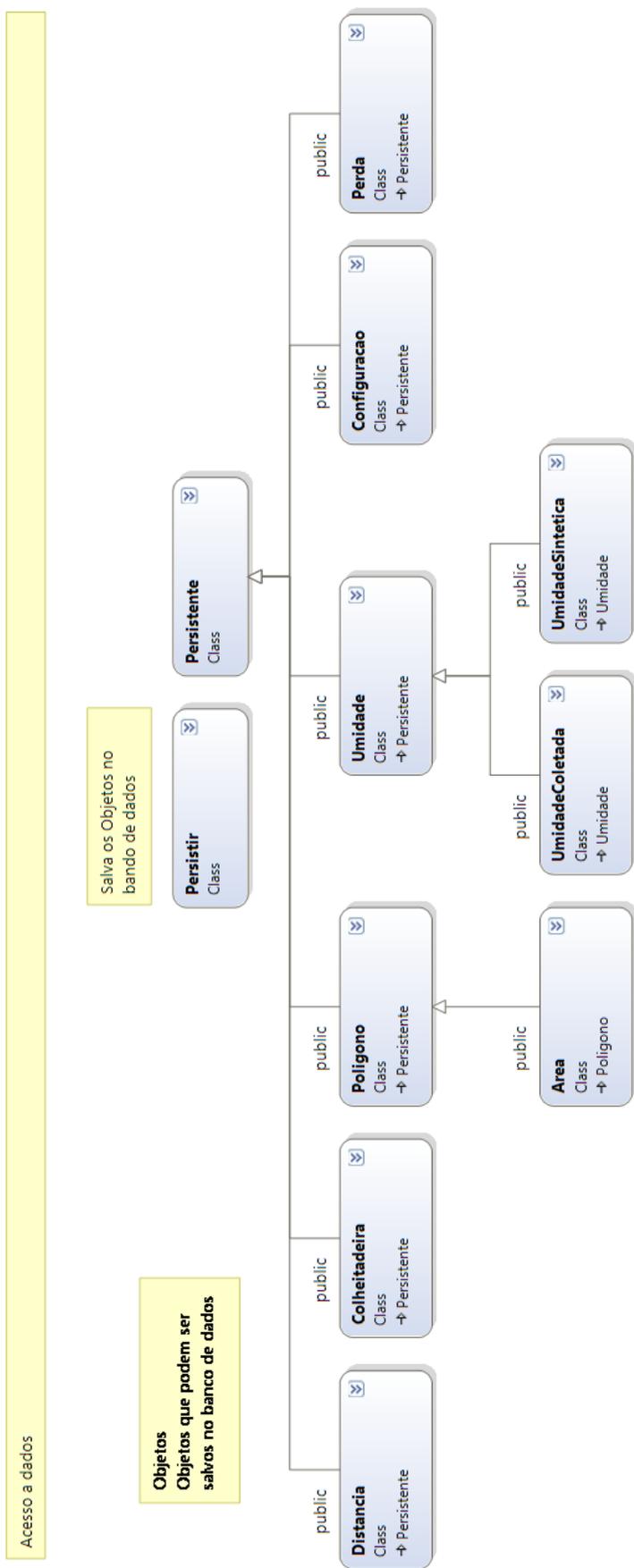
Cafeicultura Mineira e sua Divulgação via WEB. Centro Tecnológico Sul de Minas. Lavras, p. 8. 2005.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à Agricultura de Precisão: Conceitos e Vantagens. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, 07 março 2001. 159-162.

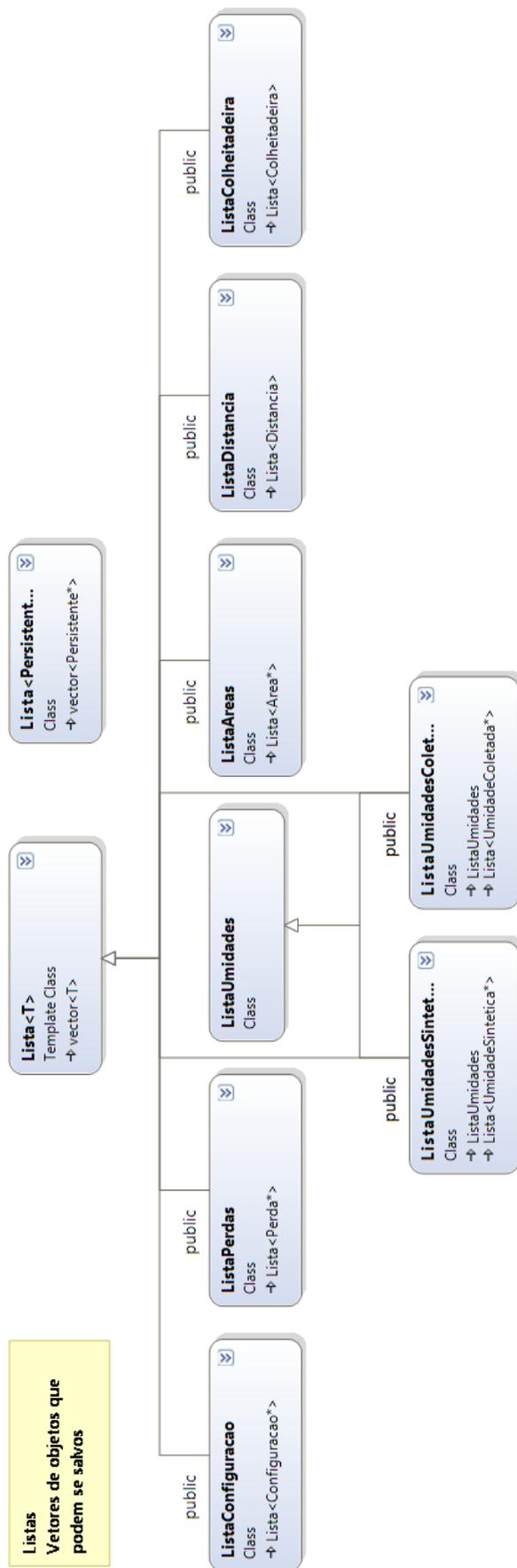
UFRRJ. Geoprocessamento na Agricultura de Precisão. **1ª Semana Acadêmica de Engenharia de Agrimensura**, Rio de Janeiro, 03 dezembro 2004. 15.

VENDITTI, F. Método de Interpolação de Lagrange. **INPE**, 2013. Disponível em: <<http://www2.dem.inpe.br/mcr/Inpe/CMC-203-0/pdf/Flaviane.pdf>>. Acesso em: 10 outubro 2012.

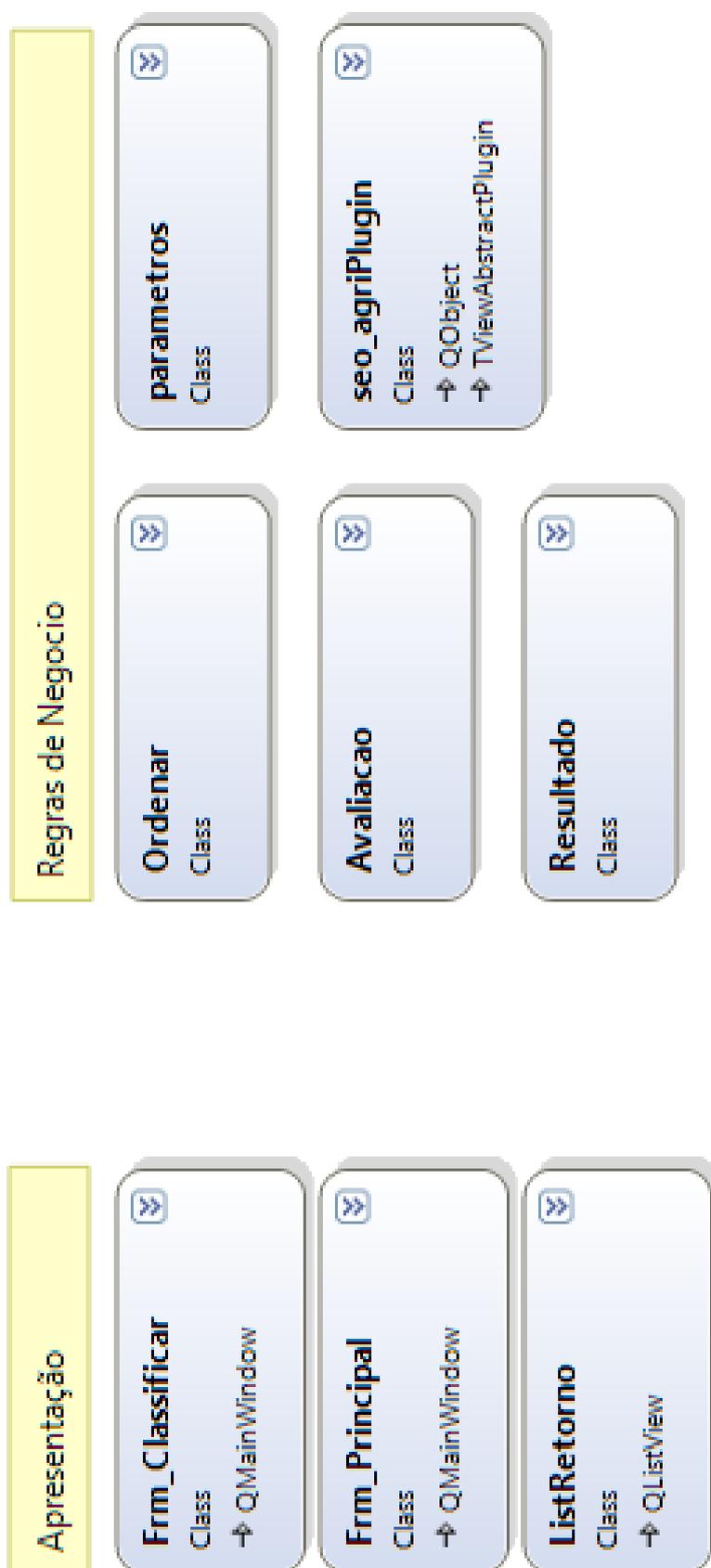
APÊNDICE I – DIAGRAMA DE CLASSES – CAMADA DE ACESSO A DADOS



APÊNDICE II – DIAGRAMA DE CLASSES – LISTAS



APÊNDICE III – DIAGRAMA DE CLASSES - CAMADA DE REGRAS DE NEGOCIO E APRESENTAÇÃO



APÊNDICE IV - COORDENADAS DAS ÁREAS

Descrição	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Área 7	Área 8
S 1	08°14"13.5'	08°13"06.5'	08°09"05.4'	08°12"37.4'	08°11"54.5'	08°15"17.8'	08°15"09.3'	08°17"57.0'
w 1	44°35"33.1'	44°35"04.7'	44°39"56.9'	44°34"03.3'	44°33"13.3'	44°31"46.4'	44°31"53.5'	44°33"49.3'
S 2	08°13"31.6'	08°12"54.4'	08°08"50.5'	08°12"27.0'	08°12"13.2'	08°15"09.3'	08°14"53.5'	08°18"14.8'
w 2	44°34"43.2'	44°35"15.3'	44°40"10.0'	44°33"51.2'	44°32"45.5'	44°31"53.5'	44°32"07.2'	44°33"34.1'
S 3	08°13"19.1'	08°13"36.2'	08°09"32.1'	08°13"01.5'	08°11"40.2'	08°14"27.8'	08°14"31.7'	08°17"32.7'
w 3	44°34"54.0'	44°36"05.0'	44°41"05.1'	44°33"42.3'	44°32"06.1'	44°31"03.7'	44°31"41.5'	44°32"44.2'
S 4	08°14"01.2'	08°13"49.0'	08°09"47.8'	08°12"51.0'	08°11"15.8'	08°14"36.9'	08°14"57.4'	08°17"14.8'
w 4	44°35"43.8'	44°35"54.5'	44°40"47.0'	44°33"29.9'	44°32"28.1'	44°30.56.9'	44°31"39.1'	44°32"59.3'

Descrição	Área 9	Área 10	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15
S 1	08°21"31.61'	08°18"34.69'	08°16"21.37'	08°15"59.12'	08°16"21.37'	08°06"23.24'	08°07"31.17'
w 1	44°26"18.29'	44°26"00.07'	44°42"56.14'	44°42"28.75'	44°42"56.14'	44°39"10.41'	44°39"38.59'
S 2	08°21"56.72'	08°19"00.17'	08°16"46.20'	08°15"46.86'	08°16"46.20'	08°06"49.45'	08°06"49.45'
w 2	44°25"56.08'	44°25"37.84'	44°42"34.01'	44°42"39.54'	44°42"34.01'	44°38"48.95'	44°38"48.95'
S 3	08°21"14.94'	08°18"55.89'	08°16"09.16'	08°16"29.05'	08°17"04.31'	08°07"31.17'	08°07"15.55'
w 3	44°25"05.64'	44°25"18.22'	44°41"49.78'	44°43"30.46'	44°42"57.34'	44°39"38.59'	44°38"36.37'
S 4	08°20"52.28'	08°18"32.96'	08°15"46.28'	08°16"41.16'	08°16"40.56'	08°07"06.43'	8°07"48 19'
w 4	44°25"26.61'	44°25"36.60'	44°42"10.28'	44°43"19.22'	44°43"18.91'	44°39"59.62'	44°39"19.01'

APÊNDICE VI – RESULTADOS - PERDAS POR CENÁRIO

Algoritmo/Especialista		Cenário 1 (em %)	Cenário 2 (em %)	Cenário 3 (em %)
Médias	Algoritmo Genético (GA)	1,343	1,766	1,923
	Têmpera Simulada (SA)	1,455	1,703	1,817
	Colônia de Formiga (ACO)	1,594	1,905	2,07
Especialista 1		1,338	1,900	1,945
Especialista 2		1,338	1,940	2,075
Especialista 3		1,603	1,961	2,457
Algoritmo Genético (GA)				
GA 1		1,336	1,748	1,891
GA 2		1,339	1,794	1,969
GA 3		1,347	1,733	1,962
GA 4		1,347	100,000	1,903
GA 5		1,327	1,768	100,000
GA 6		1,338	1,758	1,898
GA 7		1,338	1,785	1,882
GA 8		1,346	1,798	100,000
GA 9		1,348	1,757	1,892
GA 10		1,348	1,764	1,943
Têmpera Simulada (SA)				
SA 1		1,610	1,711	1,813
SA 2		1,347	1,710	1,864
SA 3		1,556	1,698	1,833
SA 4		1,454	1,688	1,715
SA 5		1,512	1,690	1,821
SA 6		1,518	1,707	1,826
SA 7		1,435	1,670	1,792
SA 8		1,417	1,715	1,754
SA 9		1,456	1,698	1,787
SA 10		1,442	1,723	1,826
Colônia de Formiga (ACO)				
ACO 1		1,643	1,970	100,000
ACO 2		1,662	1,835	2,018
ACO 3		1,662	1,967	100,000
ACO 4		1,590	1,879	2,06
ACO 5		1,594	1,840	100,000
ACO 6		1,643	100,000	2,024
ACO 7		1,580	1,835	2,08
ACO 8		1,593	100,000	2,031
ACO 9		1,594	1,869	2,043
ACO 10		1,593	1,931	100,000