

## Modelagem de Objetos para uma Ferramenta Computacional em Agricultura de Precisão para Distribuição Maximizada de Sensores de Aquisição dos Atributos de Solos por Proximidade

*Modeling of Objects for a Precision Agriculture Computational Tool for Maximized Distribution of Soil Attributes by Proximity Sensors*

Marcos Alexandre Fernandes Ferronato<sup>1</sup>, Simone Vasconcelos Silva<sup>2</sup>, Antônio José da Silva Neto<sup>3</sup>

### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar a modelagem dos objetos e um método de distribuição de sensores que servem como base para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional. Tal ferramenta é utilizada para a distribuição maximizada de sensores de aquisição por proximidade de atributos de solos através da condutividade elétrica visando proporcionar o suporte à decisão para agricultura de precisão. Este trabalho consiste em uma sequência de atividades que vai desde a modelagem dos objetos necessários para o armazenamento das informações das unidades de agronegócio até o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que implemente estes objetos e o método de distribuição de sensores proposto como Cobertura por Busca Binária de Variação Significativa (CBBVS). Através da ferramenta foram executadas simulações da distribuição para maior cobertura, e com isso foi possível demonstrar que o uso da ferramenta pode melhorar a produtividade e reduzir custos na agricultura.

**Palavras-chave:** Modelagem de Objetos, Ferramenta Computacional, Sensoriamento, Agricultura de Precisão.

### ABSTRACT

This work aims to present object modeling and a method of sensor distribution that serve as the basis for the development of a computational tool. This tool is used for the maximized distribution of proximity sensors of attributes of soils through the electrical conductivity aiming to provide decision support for precision agriculture. This work consists of a sequence of activities that goes from the modeling of the objects necessary for the storage of the information of the agribusiness units to the development of a computational tool that implements these objects and the method of sensor distribution proposed as Binary Search Coverage of Significant Variation (CBBVS). Through the tool, the simulations of the distribution were executed for greater coverage, and with this it was possible to demonstrate that the use of the tool can improve productivity and reduce costs in agriculture.

**Keywords:** Modeling of Objects, Computational Tool, Sensing, Precision Agriculture.

<sup>1</sup> Mestrando em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão. Instituto Federal Fluminense.

E-mail:

ferronato.marcos@gmail.com

<sup>2</sup> Doutora em Computação. Instituto Federal Fluminense.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Mecânica. Instituto Politécnico do Rio de Janeiro - UERJ.

## 1. INTRODUÇÃO

A economia brasileira é fortemente baseada no agronegócio, que representa de forma direta, aproximadamente 27% (R\$ 1,7 trilhões) do PIB brasileiro, que no ano 2016 foi de R\$ 6,3 trilhões. A área de uso efetivo com agronegócio é de 305 milhões de ha, distribuídos em 56 milhões de unidades de agronegócio, fazendo o país ser o maior em área produtiva no mundo (IBGE, 2017). De acordo com estas informações verifica-se que o agronegócio é cada vez mais importante para a economia do país. Neste contexto se faz necessário o uso de soluções tecnológicas que possibilitem a melhoria da sustentabilidade e da rentabilidade das unidades de agronegócio. Portanto, é importante que a tecnologia seja de baixo custo e de fácil utilização, para que pequenas e médias unidades de agronegócio possam usufruir destas tecnologias.

A proposta de Mesas-Carrascosa et al. (2015) afirma que agricultura de precisão combina o uso de tecnologias de automação do agronegócio com métodos consolidados de gestão para garantir os melhores resultados. A obtenção de informações em tempo real para monitorar culturas ou fazer previsões de rendimento é um desafio possível de ser vencido ao se utilizar uma abordagem com modelos de rendimento das culturas em combinação com dados em tempo real. Esta proposta comprova a crescente demanda pelo uso de ambientes computacionais para monitoramento e controle dos atributos de solos e lavouras, gerando a necessidade por produtos e serviços de tecnologia. A distribuição de sensores, a aquisição e o armazenamento das informações sobre solos e lavouras são exemplos destes produtos e serviços.

Segundo Dutta et al. (2014) o último desafio da gestão do agronegócio, seja do ponto de vista ambiental e de sustentabilidade ou do ponto de vista de rentabilidade, está relacionado a sistemas de apoio à decisão. A integração deste conhecimento à ação de especialista para gerar decisões de agropecuária sustentável utilizando ambientes computacionais é um problema de grande interesse da comunidade científica. Nesta mesma linha Fountas et al. (2015) afirmam que a introdução de tecnologias de agricultura de precisão para atividades agropecuárias fornece aos gestores do agronegócio a oportunidade de lidar com a variabilidade do dia a dia das lavouras e de gerenciar de forma eficiente uma vasta quantidade de informação disponível.

As inovações tecnológicas nesta área de negócio com o uso de sistemas de monitoramento de desempenho e os recentes avanços na tecnologia de automação permitem o fornecimento de informações úteis para otimizar as operações globais de sustentabilidade e de produtividade nas unidades de agronegócio. De forma complementar, Kubota e Da Rosa (2014) associam os métodos de produção enxuta (*lean manufacturing*) aos processos de gestão do agronegócio, onde cada safra é considerada como um processo produtivo que contém seus fornecedores, recursos, produção, logística e resultados, como se fosse uma operação industrial.

O sensoriamento de atributos de solo através da condutividade elétrica vem sendo alvo de pesquisas para o agronegócio e a agricultura de precisão. Neste contexto apresenta-se o trabalho de Celinski et al. (2009), que propõem o uso de medição com multímetro, para através da resistência do solo estimar de forma bem próxima à realidade os valores dos atributos físicos de solo. Na mesma linha, Cruvinel et al. (2014) analisaram os componentes principais e conseguiram identificar tendências de relações dos atributos do solo com a produtividade, e em seguida realizaram a análise espacial dos atributos mais relevantes para ganhos de produtividade, o que proporcionou a minimização de esforços da viabilização da fertilização.

A otimização na utilização de recursos tem sido foco de estudos com o propósito de criar condições de melhoria dos resultados das organizações. Neste contexto apresentam-se Luus e Jaakola (1973), que afirmam que otimizar a utilização de recursos requer o uso de modelos e métodos que sejam rápidos na obtenção de resultados e que estes sejam confiáveis. Propõem ainda que estes modelos e métodos sejam capazes de encontrar os gargalos e redesenhar certos aspectos do sistema para maximizar a função objetivo relacionado ao problema proposto. Ao incorporar mecanismos sistemáticos de redução em otimização aleatória, Spaans e Luus (1992) afirmam que quando o domínio de pesquisa é sistematicamente reduzido após cada iteração, a convergência é obtida em número relativamente pequeno de avaliações, mesmo quando a região de pesquisa inicial está longe de ser a ótima.

No trabalho sobre monitoramento de lavouras, Gómez-Candón et al. (2014) propõem que com o uso de sensoriamento remoto é possível a identificação precoce e controle de pragas e de ervas daninhas a um custo mais baixo, com o uso de herbicidas, larvicidas e fungicidas. Esta proposta posiciona o trabalho aqui desenvolvido na fronteira da melhoria da sustentabilidade e da rentabilidade do agronegócio. Também corroborando com a proposta deste trabalho, tem-se o proposto por Kone et al. (2015)

onde afirmam que a agricultura de precisão é gerada por um ambiente computacional (hardware e software) para uma gestão do agronegócio com o objetivo de regular mais de perto (em quantidade, espaço e tempo), as necessidades das culturas em pesticidas, fertilizantes e irrigação. Com base nas informações coletadas nas lavouras (por exemplo, temperatura, umidade, fertilizantes e os níveis de pesticidas), pode-se fornecer os insumos necessários (fertilizantes, pesticidas e irrigação) para maximizar a produtividade da cultura, preservando os recursos e protegendo o meio ambiente.

Srbinovska et al. (2014) afirmam que inovação e automação no agronegócio têm por objetivo reforçar a competitividade da agricultura e contribuir para a proteção do ambiente e para apoiar o emprego e o crescimento em áreas rurais. As novas tecnologias e pesquisas no setor agropecuário criaram ambiente adequado para desenvolvimento e implementação de métodos agrícolas inovadores, que respeitam o meio ambiente, permitindo que os agricultores possam aumentar a produção e melhorar a gestão ambiental, o que é essencial para o desenvolvimento sustentável e rentável do agronegócio.

Com relação à utilização da Condutividade Elétrica para se chegar à concentração de atributos de solo, através do sensoriamento por proximidade, Rabello et al. (2014) afirmam que a Condutividade Elétrica (CE) se mostra bastante eficaz como mecanismo de interpretação dos atributos físicos de solo e que é necessário expandir as pesquisas no sentido de criar sensores de proximidade capazes de medir a variações menores de CE para possibilitar a interpretação de atributos químicos. Também neste sentido o estudo de Brandão et al. (2017) comprova a eficiência e eficácia da utilização da medição por proximidade da condutividade elétrica como mecanismo de interpretação do atributo pH do solo, e propõem que este conceito pode ser utilizado como mecanismo de interpretação de atributos químicos.

Na otimização de sistemas complexos Luus (1980) afirma ser necessário simplificar um sistema de alta ordem para um sistema de menor ordem. O modelo reduzido facilita o trabalho de otimização, em relação ao custo computacional, e ao mesmo tempo se aproxima muito do modelo original, do ponto de vista de otimização. Nesta mesma linha, Maniezzo e Colorni (1996) propõem que uma heurística de otimização deve poder resolver vários tipos de problemas de otimização e estes devem ter as seguintes características: ser versátil, na medida em que pode ser aplicado a versões semelhantes do mesmo problema e ser robusto para ser aplicado com mínimas alterações.

Este artigo tem o objetivo de propor a modelagem dos objetos e um método para distribuição de sensores que são a base para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz de minimizar problemas relacionados à distribuição de sensores para aquisição por proximidade de atributos de solos através da condutividade elétrica.

A partir da introdução, o artigo encontra-se estruturado nas seguintes seções: Seção 2 trata dos materiais e métodos relacionados com a modelagem do problema de armazenamento das informações sobre os atributos de solo e da distribuição dos sensores; Seção 3 apresenta os resultados obtidos e discussões sobre os mesmos; e a Seção 4 aborda as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como forma de apresentar a pesquisa em andamento é mostrado o fluxo completo dos elementos que compõem a pesquisa. Ele está distribuído em blocos e estes estão divididos nas etapas a serem seguidas, conforme representação feita na Figura 1.

Como forma de condensar o fluxo da Figura 1, representando somente as atividades executadas neste artigo, apresenta-se o fluxo representado pela Figura 2.

As atividades representadas na Figura 2 são detalhadas a seguir:

- Definições Básicas – compõem o Bloco 1 da Figura 1 e são divididas em duas etapas: Etapa I- Mapeamento de Solos e Culturas, e Etapa II – Mapeamento dos Atributos de Solo. Nas definições básicas são apresentados os objetos que vão compor a base necessária ao desenvolvimento do trabalho, criando o modelo dos objetos a serem implementados na ferramenta computacional;
- Ferramenta Computacional – equivale à Etapa III do Bloco 2 da Figura 1, e contém a implementação dos objetos modelados, gerando a ferramenta computacional e a base de dados para armazenamento das informações;
- Distribuição dos Sensores – compõe o Bloco 5 da Figura 1 e está dividida em duas etapas: Etapa IX – Definição da área geográfica de simulação e Etapa X – Desenvolvimento e execução do método de distribuição dos sensores. Nessa atividade foi realizada a simulação com a ferramenta computacional de uma distribuição dos sensores e analisados os resultados obtidos.



Figura 1. Fluxograma completo das atividades da pesquisa

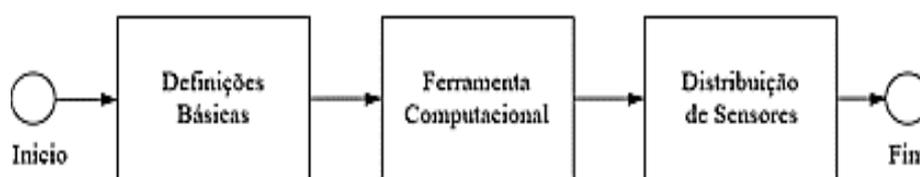


Figura 2. Fluxograma das atividades executadas neste artigo

## 2.1 Definições Básicas

Os objetos modelados nesse artigo são: tipos de solo, culturas, atributos físicos e químicos de solos mais relevantes, concentração ideal dos atributos físicos e químicos de solo, umidade do solo, temperatura do solo, condutividade elétrica associada aos atributos físicos e químicos do solo. Os passos que definem a modelagem desses objetos são:

- Passo 1 – Identificar todos os tipos de solos do Brasil  $SP_i^r$ , com  $i$  representando cada um dos solos do país,  $i = 1, 2, \dots, N_{sp}^r$ , e com  $r$  representando cada uma das regiões do país,  $r = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ .  $N_{sp}$  representa o número total de solos;
- Passo 2 - Identificar todas as culturas desenvolvidas no Brasil  $CP_j^r$ , com  $j$  representando cada uma das culturas do país,  $j = 1, 2, \dots, N_{cp}^r$ , e com  $r$  representando cada uma das regiões do país,  $r = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ .  $N_{cp}$  representa o número total de culturas;
- Passo 3 – Neste passo estão representados os atributos físicos de solos mais relevantes  $AFP_l^\sigma$ , com  $l$  representando cada um dos atributos físicos da pesquisa com  $l = 1, 2, 3$  (Umidade, Temperatura e Densidade), e  $\sigma$  representando cada um dos solos da pesquisa,  $\sigma = 1, 2, \dots, N_{sp}$ ;
- Passo 4 – Neste passo estão representados os atributos químicos de solo mais relevantes  $AQP_m^\sigma$ , com  $m$  representando cada um dos atributos químicos da pesquisa,  $m = 1, 2, 3, 4$  (N-Nitrogênio, Ca-Cálcio, P-Fósforo e K-Potássio), e  $\sigma$  representando cada um dos solos da pesquisa,  $\sigma = 1, 2, \dots, N_{sp}$ ;
- Passo 5 – Determinar e documentar a concentração ideal dos atributos físicos de solo da pesquisa  $CT(AF_l)_\sigma^\delta$ , com  $l$  representando cada um dos atributos físicos da pesquisa,  $l = 1, 2, 3$  (Umidade, Temperatura e Densidade),  $\sigma$  representando cada um dos solos da pesquisa,  $\sigma = 1, 2, \dots, N_{psp}$  e  $\delta$  representando cada uma das culturas da pesquisa,  $\delta = 1, 2, \dots, N_{pcp}$ .  $N_{psp}$  representa o número total de solos e  $N_{pcp}$  representa o número total de culturas tratados na pesquisa;
- Passo 6 – Determinar e documentar a concentração ideal dos atributos químicos de solo da pesquisa  $CT(AQ_m)_\sigma^\delta$ , com  $m$  representando cada um dos atributos químicos da pesquisa,  $m = 1, 2, 3, 4$  (N-Nitrogênio, Ca-Cálcio, P-Fósforo e K-Potássio),  $\sigma$  representando cada um dos solos da pesquisa,  $\sigma = 1, 2, \dots, N_{psp}$  e  $\delta$  representando cada uma das culturas da pesquisa,  $\delta = 1, 2, \dots, N_{pcp}$ ;
- Passo 7 – Representação do valor de umidade do solo  $US_{u_{SP_\sigma}}^{CP_\delta}$ , com  $u$  representando cada um dos sensoriamentos de umidade, com  $u = 1, 2, \dots, N_{su}$ ,  $SP_\sigma$  representando cada um dos solos da pesquisa, com  $SP_\sigma = 1, 2, \dots, N_{psp}$  e  $CP_\delta$  representando cada uma das culturas da pesquisa, com  $CP_\delta = 1, 2, \dots, N_{pcp}$ .  $N_{su}$  representa o número total de medidas de umidade da pesquisa;

- Passo 8 – Representação do valor de temperatura do solo  $TS_{tSP_{\sigma}}^{CP_{\delta}}$ , com  $t$  representando cada um dos sensoriamentos de temperatura, com  $t = 1, 2, \dots, N_{st}$ ,  $SP_{\sigma}$  representando cada um dos solos da pesquisa, com  $SP_{\sigma} = 1, 2, \dots, N_{psp}$  e  $CP_{\delta}$  representando cada uma das culturas da pesquisa, com  $CP_{\delta} = 1, 2, \dots, N_{pcp}$ .  $N_{st}$  representa o número total de medidas de temperatura da pesquisa;
- Passo 9 – Representação do valor de condutividade elétrica do atributo físico  $CEP_{ceSP_{\sigma}}^{CP_{\delta}}(f_n, CT^*(AF_l^z)_{\sigma}^{\delta})$ , com  $ce$  representando cada um dos sensoriamentos de condutividade elétrica do solo para os atributos, com  $ce = 1, 2, \dots, N_{sce}$ ,  $SP_{\sigma}$  representa cada um dos solos da pesquisa, com  $SP_{\sigma} = 1, 2, \dots, N_{psp}$ , e  $CP_{\delta}$  representa cada uma das culturas da pesquisa, com  $CP_{\delta} = 1, 2, \dots, N_{pcp}$ . O símbolo  $f_n$  representa as frequências correlacionadas à concentração do atributo físico  $CT^*(AF_l^z)$ , associada ao índice  $z$  do atributo.  $N_{sce}$  representa o número total de medidas de condutividade elétrica para o atributo físico;
- Passo 10 – Representação do valor de condutividade elétrica dos atributos químicos  $CEP_{ceSP_{\sigma}}^{CP_{\delta}}(f_n, CT^*(AQ_m^z)_{\sigma}^{\delta})$ , com  $ce$  representando cada um dos sensoriamentos de condutividade elétrica do solo para os atributos químicos com,  $ce = 1, 2, \dots, N_{sce}$ ,  $SP_{\sigma}$  representa cada um dos solos da pesquisa, com  $SP_{\sigma} = 1, 2, \dots, N_{psp}$  e  $CP_{\delta}$  representa cada uma das culturas da pesquisa, com  $CP_{\delta} = 1, 2, \dots, N_{pcp}$ . O símbolo  $f_n$  representa as frequências correlacionadas à concentração do atributo químico  $CT^*(AQ_m^z)$ , associada ao índice  $z$  do atributo.  $N_{sce}$  representa o número total de medidas de condutividade elétrica para o atributo químico.

## 2.2 Distribuição dos Sensores

Bergh e Engelbrecht (2006) propõem a otimização por enxames de partículas como método simples e robusto, mesmo demandando um grande poder computacional para execução da heurística. Em contrapartida, Candès (2010) propõe que para otimizar uma extensa área, esta pode ser dividida como elementos de uma matriz, não existindo a necessidade de percorrer todos os elementos, bastando identificar comportamentos semelhantes e percorrer somente os elementos que apresentam variação.

Baseado no método de Candès (2010), este artigo propõe a definição do método para otimização da distribuição dos sensores, denominado Cobertura por Busca Binária de Variação Significativa (CBBVS). Este método proposto implementa o conceito de

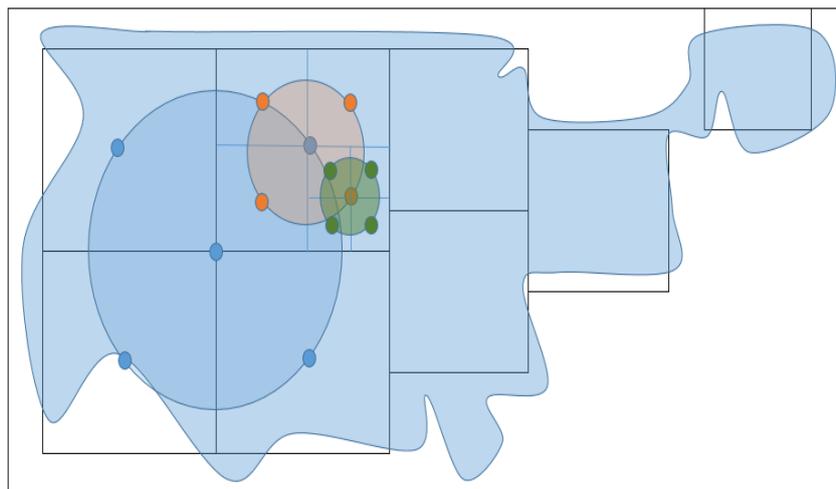
distribuir os sensores somente nas áreas onde houver variação da concentração dos atributos, tanto em relação ao padrão quanto em relação aos outros pontos de sensoriamento.

Na representação dos objetos necessários para implementação do método CBBVS define-se  $ATS = (\alpha * \beta)$ , com  $ATS$  representando a área total a ser sensoriada,  $\alpha$  representando o comprimento (em metros) da área a ser sensoriada em relação ao eixo  $x$  e  $\beta$  representando a largura (em metros) da área a ser sensoriada em relação ao eixo  $y$  do plano cartesiano. Define-se ainda  $NQ_{ger} = ATS / 10.000$ , com  $NQ_{ger}$  representando o número de quadrantes (1 ha) possíveis de sensoriamento.  $\gamma = NQ_{ger} / (\beta / 1000)$  (com resultado inteiro arredondado para baixo), com  $\gamma$  representando o índice relativo a cada linha da matriz de quadrantes possíveis de sensoriamento. Define-se o índice relativo como  $\rho = NQ_{ger} / (\alpha / 1000)$  (com resultado inteiro arredondado para baixo), com  $\rho$  representando o índice relativo a cada coluna da matriz de quadrantes possíveis de sensoriamento.  $MS_{ger}[lim_{\gamma}, col_{\rho}]$  representa a matriz gerada para sensoriamento, com  $\alpha = 1, 2, \dots, C_{base}$ ,  $\beta = 1, 2, \dots, C_{altura}$ ,  $\gamma = 1, 2, \dots, N_{lim}$ ,  $\rho = 1, 2, \dots, N_{col}$ . Tendo como restrição  $(\alpha * \beta)/1000 < 1$  então  $MS_{ger}[1,1]$  e  $MS_{efe}[1,1]$ .

O método CBBVS, proposto neste artigo, está representado esquematicamente na Figura 3. Para a implementação dos objetos no sentido de otimizar a distribuição dos sensores foi desenvolvido o algoritmo representado através do pseudocódigo da Figura 4. Este método CBBVS usou como base os conceitos de Luus e Hennessy (1999) com a otimização de pesquisa direta. Estes autores propõem que a otimização seja feita a partir da região de pesquisa determinada de acordo com a extensão das mudanças nas variáveis durante cada uma das iterações.

## 2.3 Ferramenta Computacional

Para simulação da distribuição dos sensores foi utilizada uma ferramenta computacional, a qual foi desenvolvida por uma empresa através de contrato de projeto de inovação com o Polo de Inovação de Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense (IFFluminense), com recursos da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII). Tal ferramenta foi desenvolvida a partir dos objetos modelados neste artigo (NETWORK, 2017).



**Figura 3.** Representação gráfica 2D, no plano cartesiano, da distribuição dos sensores baseado no CBBVS

```
1 Pseudo Código de cálculo da distribuição ótima dos sensores de Cobertura por Busca Binária de Variação Significativa
2 Acessa arquivo de imagem da área a ser sensoriada
3 Apura comprimento da base em metros
4 Apura comprimento da altura em metros
5 Aplica malha externa sobre a imagem circundando a área a ser sensoriada
6 Enquanto na imagem tiver area vazia faça
7     Se cabe quadrante de (3,16 x 3,16 ha) então
8         desenha quadrante (3,16 x 3,16 ha)
9         Senao
10            dimensao quadrante = verifica dimensao possivel(area vazia)
11            Quadrante = desenha quadrante (dimensao quadrante)
12        Fim Se
13        atualiza area vazia(quadrante desenhado)
14        registra quadrante (id_quadrante, dimensao)
15 Fim Enquanto
16 GeraCartesiano(Registro de Quadrante n)
17 Para todos os quadrantes registrados faça
18     Aplica sobre a imagem os pontos de sensoriamento (registro de ponto de sensoriamento)
19     grava arquivo imagem com pontos de sensoriamento
20     Chama auxilio a aplicação dos sensores na área a ser sensoriada
21     Resultado Sensoriamento[]=Executa Sensoriamento(ponto de sensoriamento)
22     Ponto com Variacao = Verifica Diferenca(Resultado Sensoriamento)
23     Para cada Ponto com Variacao faça
24         dimensao quadrante = apura subquadrante(centro subquadrante)
25         Quadrante = desenha quadrante(dimensao quadrante)
26         Registra Quadrante(Quadrante)
27         GeraCartesiano(Registro de Quadrante n)
28     Fim Para
29 Fim Para
```

**Figura 4.** Pseudocódigo para cálculo da distribuição dos sensores com CBBVS

A ferramenta foi desenvolvida utilizando-se a linguagem de programação Java

(ORACLE, 2017), no ambiente J2EE, com Jaguar (POWERLOGIC, 2017). O Banco de dados utilizado foi SQL Server (MICROSOFT, 2017). As funcionalidades da ferramenta estão distribuídas nas seguintes opções de menu:

- Cadastros Básicos – nos cadastros básicos estão os objetos responsáveis pela entrada de dados de Propriedade por região e país;
- Elementos – nesta opção de menu estão os objetos responsáveis pelo cadastro de Solos, Culturas e Atributos;
- Medição – nesta opção de menu estão os objetos responsáveis pelo cadastro de Correlação dos Atributos de Solo e Condutividade Elétrica, cadastro de Pesquisa e leitura da Medição dos Atributos de Solo;
- Otimização – nesta opção de menu está o objeto que implementa o algoritmo do método CBBVS e o executa baseado nos parâmetros de entrada.

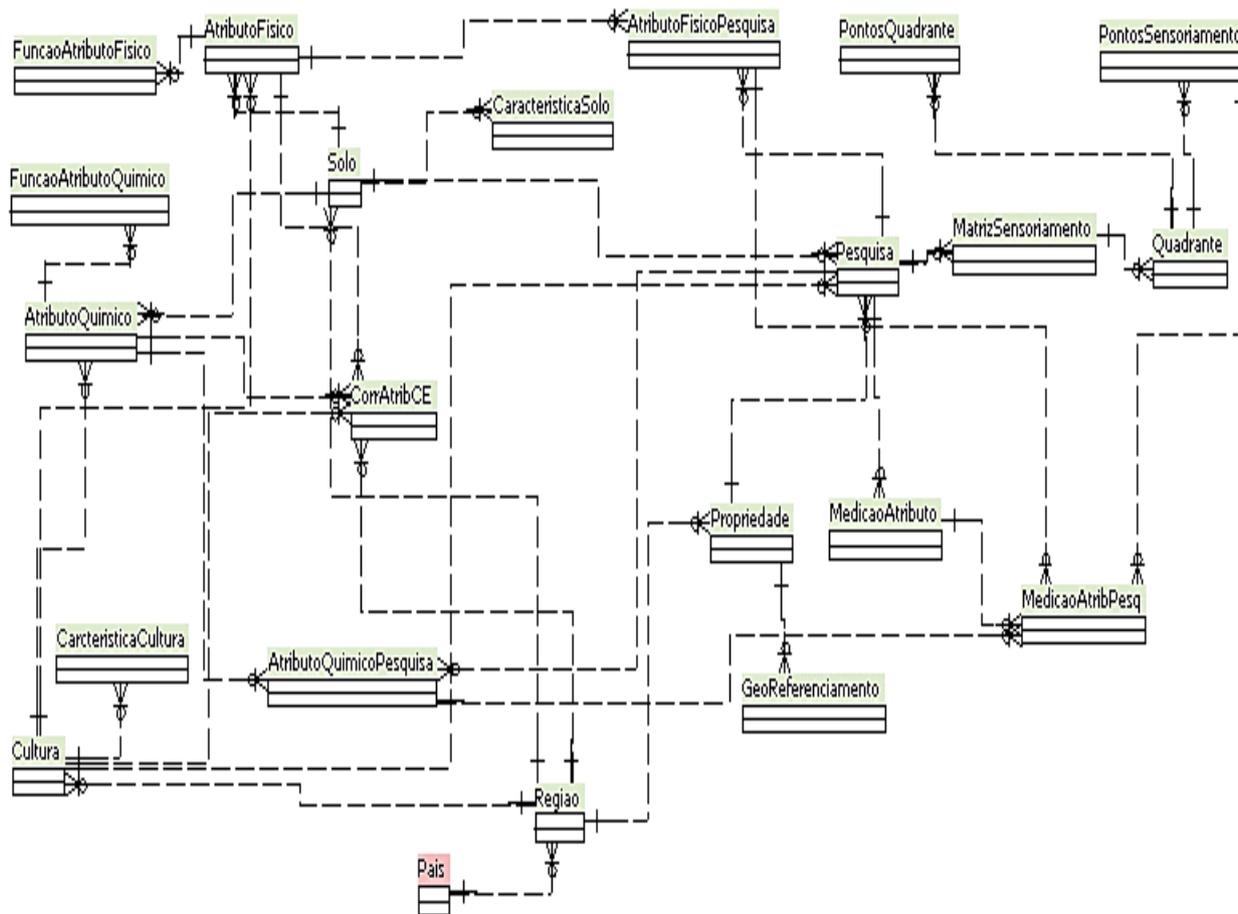
O modelo resumido com os objetos para implementação das funcionalidades que compõem a ferramenta (descritos na Seção 2.1) é representado pela Figura 5.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um resultado alcançado com a implementação da simulação de otimização da distribuição dos pontos de sensoriamento utilizando-se o método proposto Cobertura por Busca Binária de Variação Significativa (CBBVS), tendo como parâmetro de entrada uma simulação de variação dos valores de concentração dos Atributos de Solo em 30% dos pontos de sensoriamento, pode ser verificado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Número e valor de pontos de sensoriamento em relação ao tipo de simulação de variação

Simulação de Variação	Nº de pontos de sensoriamento por ha	Valor por ponto de sensoriamento	Valor de sensoriamento por ha
Coleta de Amostras Tradicionais	84	R\$ 30,00	R\$ 2.520,00
Distribuição por Força Bruta	45	R\$ 45,00	R\$ 2.025,00
Distribuição por CBBVS	15	R\$ 45,00	R\$ 675,00



**Figura 5.** Modelo resumido de objetos

**Fonte:** NetWord (2017)

No tipo de simulação de variação por Coleta de Amostras Tradicional é feita a coleta em campo de cada uma das amostras de solo para análise. Segundo a EMBRAPA (2017), neste tipo de coleta, o número mínimo de amostras para se atingir 95% de assertividade na composição dos atributos deve ser de 80 pontos de coleta por hectare. Em valores de mercado, cada análise tradicional de solo em laboratório está em valores aproximados de R\$ 30,00, e nas duas últimas técnicas indicadas na Tabela 1 os valores associados são de aproximadamente R\$ 45,00.

No tipo de simulação de variação por Distribuição por Força Bruta é feita a divisão do hectare em 9 glebas e se distribui 5 sensores por gleba, desta maneira se garante máxima cobertura, porém não considera o custo, que é elevado. No tipo de simulação de variação por Distribuição com CBBVS, o número de sensores vai variar de acordo com a variação entre os pontos de sensoriamento, onde na Tabela 1 foi apurada uma variação de 30%.

Na Tabela 1, o valor para sensoriamento por ha das unidades de agronegócio para cada técnica é apurado multiplicando-se o valor da coluna 2 pelo valor da coluna 3, conforme resultado apresentado na coluna 4.

#### 4. CONCLUSÕES

Garantir o conhecimento das informações sobre os Atributos de Solo de cada unidade de agronegócio com um grau de assertividade bastante relevante é o que cada uma das técnicas apresentadas na Tabela 1 propõe, com o objetivo de aumentar a produtividade da unidade de agronegócio e ao mesmo tempo reduzir o custo no uso de insumos.

Quanto mais detalhado for o mapeamento dos valores de concentração dos Atributos de Solo, mais assertiva será a aplicação dos insumos de produtividade, pois desta maneira o receituário de insumos será feito de acordo com a necessidade de cada um dos quadrantes mapeados.

Com o uso da ferramenta computacional, composta pelos objetos modelados e algoritmo de distribuição de sensores propostos, foi possível chegar aos resultados apresentados na Tabela 1, que demonstram uma redução no número de pontos de sensoriamento com o método CBBVS em relação ao tipo de simulação de variação por Distribuição por Força Bruta na ordem de 67% e em relação ao tipo de simulação de variação por Coleta de Amostras Tradicional na ordem de 83%.

Os resultados da Tabela 1 também demonstram uma redução do valor de sensoriamento por ha com o método CBBVS em relação ao tipo de simulação de variação por Distribuição por Força Bruta na ordem de 67% e em relação ao tipo de simulação de variação por Coleta de Amostras Tradicional na ordem de 73%.

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que a ferramenta computacional, desenvolvida a partir da modelagem dos objetos e do algoritmo de distribuição dos sensores propostos neste artigo, pode promover uma maior produtividade e uma redução de custos em cada safra nas unidades de agronegócio.

Como trabalhos futuros, propõe-se a comparação dos resultados obtidos com o método CBBVS por meio do algoritmo de distribuição dos sensores com métodos de otimização.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições: Polo de Inovação do IFFluminense, EMBRAPPII, SEBRAE, FAPERJ, CNPq e CAPES.

## REFERÊNCIAS

- BERGH F.; ENGELBRECHT A. (2006), **A study of particle swarm optimization particle trajectories**. Information Sciences, USA.
- BRANDÃO Z.; ZONTA J.; MEDEIROS J.; SANA R.; FERREIRA J. (2017), **Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás**. Agricultura e Precisão.
- CANDÈS E. (2010), **The Power of Convex Relaxation: Near-Optimal Matrix Completion**. IEEE Transactions on Information Theory, USA.
- CELINSKI V.; ZIMBACK C.; CELINSKI T. (2009), **Resistência Elétrica e sua Correlação com a Granulometria do Solo Visando Aplicação na Agricultura de Precisão**. Botucatu, SP.
- CRUVINEL P.; BERALDO J.; FOSCHINI M.; RABELLO L.; BARIONI-JUNIOR W. (2014), **Método para Identificar Tendências de Associações entre a Produtividade e Atributos Físicos e Químicos do Solo com Base em Análise de Componentes Principais e Geoestatística**. São Carlos, SP.
- DUTTA, R., MORSHED, A., ARYAL, J., D'ESTE, C., DAS, A. (2014), **Development of an intelligent environmental knowledge system for sustainable agricultural decision support**. Environmental Modelling & Software, p. 264–272.
- EMBRAPA (2017). **Anais de Atributos de Solos**. Disponível em: <www.embrapasolos.gov.br>.
- FOUNTAS S., SORENSEN C.G., TSIROPOULOS Z. (2015), **Farm machinery management information system**, Computers and Electronics in Agriculture, p. 131–138.
- GÓMEZ-CANDÓN, D.; DE CASTRO, A.I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. (2014), **Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat**. Precision Agric. Disponível em: <www.precisionagric.com>. Acesso em: 25/9/2016
- IBGE (2017), **Anais Estatísticas Agropecuária Brasil**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>.

- KONE, C.T.; HAFID, A.; BOUSHABA, M. (2015), **Performance management of IEEE 802.15.4 wireless sensor network for precision agriculture**. IEEE Sensors Journal, p. 5734–5747.
- KUBOTA, F.I., DA ROSA, L.C. (2014), **Identification and conception of cleaner production opportunities with the Theory of Inventive Problem Solving**. Journal of Cleaner Production, p. 199–210.
- LUUS R. (1980), **Optimization in model reduction**. Int. J. Control.
- LUUS R.; HENNESSY D. (1999), **Optimization of Fed-Batch Reactors by the Luus-Jaakola Optimization Procedure**. American Chemical Society, USA.
- LUUS R., JAAKOLA T. (1973), **Optimization by Direct Search and Systematic Reduction of the Size of Search Region**. AIChE.
- MANIEZZO V.; COLORNI A. (1996), **Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents**. IEEE Transactions on Systems, USA.
- MESAS-CARRASCOSA F.J., SANTANO D. V., MERONO J.E., ORDEN M. S., FERRER A. G. (2015), **Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture**. Disponível em: <<http://scihub.cc/10.1016/j.biosystemseng.2015.07.005>>. Acesso em: 25/9/2016
- MICROSOFT (2017). Site oficial disponível em <https://www.microsoft.com/pt-br/sql-server/sql-server-2016>. Acessado em 01/05/2017.
- NETWORD (2017). **Relatório técnico do modelo conceitual para a ferramenta computacional de distribuição de sensores**.
- ORACLE (2017). Site oficial disponível em <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/java8-2100321.html>. Acessado em 29/05/2017.
- POWERLOGIC (2017). Site oficial disponível em <http://www.powerlogic.org/index.html>. Acessado em 29/05/2017.
- RABELLO L.; BERNARD A.; INAMASU R. (2014), **Condutividade elétrica aparente do solo**. Agricultura e Precisão.
- SPAANS R., LUUS R. (1992), **Importance of Search-Domain Reduction in Random Optimization**. Journal of Optimization Theory and Applications.
- SRBINOVSKA, M.; GAVROVSKI, C.; DIMCEV, V.; KRKOLEVA, A. (2014), **Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks**. Journal of Cleaner Production, p. 1–11.