

Metodologia para especificação de requisitos de software para recomendação de corretivos na cultura da cana-de-açúcar

AS DIFERENTES ÁREAS DO
CONHECIMENTO
DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA
E DE ENGENHARIA
DE SOFTWARE ESTÃO
ENVOLVIDAS NO LEVANTAMENTO
E NA ESPECIFICAÇÃO DOS REQUISITOS
DE UMA APPLICATION
PROGRAM INTERFACE (API) PARA

RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS
NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR,
NO ÂMBITO DE UM
PROJETO DE PESQUISA

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agricultura Digital
Ministério da Agricultura e Pecuária***

DOCUMENTOS 189

Metodologia para especificação de requisitos de software para recomendação de corretivos na cultura da cana-de-açúcar

*Adriana Delfino dos Santos
Luís Eduardo Gonzales
Fábio César da Silva
Estêvão Bittencourt Granjo
Júlio César Assad de Mello
Fernando Freire
Cristiano Alberto de Andrade
Mariana Lopes de Carvalho*

***Embrapa Agricultura Digital
Campinas, SP
2023***

Embrapa Agricultura Digital Comitê Local de Publicações

Av. Dr. André Tosello, 209 - Cidade Universitária
Campinas, SP, Brasil
CEP: 13083-886
Fone: (19) 3211-5700
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Presidente
Carla Geovana do Nascimento Macário

Secretária-Executiva
Maria Fernanda Moura

Membros
Alexandre de Castro, membro indicado, Carla Cristiane Osawa, membro nato, Debora Pignatari Drucker, membro eleito, Graziella Galinari, membro nato, Ivan Mazoni, membro eleito, João Camargo Neto, membro indicado, Joao Francisco Goncalves Antunes, membro eleito, Magda Cruciol, membro nato.

Revisão de texto
Adriana Farah Gonzalez

Normalização bibliográfica
Carla Cristiane Osawa

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Magda Cruciol

Imagem da capa
Magda Cruciol

Publicação digital (2023): PDF

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agricultura Digital

Metodologia para especificação de requisitos de software para recomendação de corretivos na cultura da cana-de-açúcar / Adriana Delfino dos Santos ... [et al.]. - Campinas : Embrapa Agricultura Digital, 2023.
PDF (27 p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Agricultura Digital, ISSN 2764-2488 ; 189).

1. Engenharia de software. 2. Engenharia de requisitos. 3. Mapa conceitual. 4. Programa computacional. I. Santos, Adriana Delfino dos. II. Embrapa Agricultura Digital. III. Série.

CDD (21. ed.) 005.12

Carla Cristiane Osawa (CRB-8/10421)

© Embrapa, 2023

Autores

Adriana Delfino dos Santos

Analista de Sistemas, mestre em Engenharia Elétrica, pesquisadora da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP

Luís Eduardo Gonzales

Engenheiro de Computação, analista da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP

Fábio César da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP

Estêvão Bittencourt Granjo

Engenheiro-agrônomo, diretor da Empresa Brasileira de Calcário Ltda, Saltinho, SP

Júlio César Assad de Mello

Engenheiro-agrônomo, Supervisor de Vendas da Empresa Brasileira de Calcário Ltda, Saltinho, SP

Fernando Freire

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE

Cristiano Alberto de Andrade

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas,
pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Colaboradores

Mariana Lopes de Carvalho

Estudante do curso de Biocombustíveis, da FATEC, Piracicaba,
SP

Apresentação

As diferentes áreas do conhecimento de Engenharia Agrônômica e de Engenharia de Software estão envolvidas no levantamento e na especificação dos requisitos de uma *Application Program Interface* (API) para recomendação de corretivos na cultura da cana-de-açúcar, no âmbito de um projeto de pesquisa agropecuária. Consequentemente, o projeto possui uma equipe inter e multidisciplinar que requer uma boa comunicação entre os seus membros para alcançar um dos resultados esperados: o desenvolvimento da API.

Este trabalho relata a experiência da combinação de técnicas e métodos para organizar o conhecimento dos especialistas de Engenharia Agrônômica e registrá-lo de forma a facilitar o entendimento pelo especialista de Engenharia de Software, além de facilitar a tradução deste conhecimento em requisitos da API. Foram considerados o aprimoramento da metodologia de recomendação de corretivos na cultura, a adoção das etapas do ciclo de vida da Engenharia de Requisitos (área de conhecimento da disciplina de Engenharia de Software), a adoção das ferramentas de Mapa Conceitual, de prototipação e de elaboração de documento de requisitos.

Stanley Oliveira

Chefe-geral da Embrapa Agricultura Digital

Sumário

Introdução.....	8
Engenharia de requisitos.....	9
Mapa conceitual	11
Metodologia aprimorada de recomendação de corretivos na cultura da cana-de-açúcar (MA-RCCC)	12
Gessagem	13
Aplicação de calcário (calagem)	16
Metodologia para especificação de requisitos de software para implementar a MA-RCCC.....	22
Considerações finais	25
Referências	26

Introdução

A calagem em solos de ambiente tropical com carga variável é essencial para viabilizar a produção agrícola sustentável, pois melhora a eficiência de uso dos nutrientes, estimula a atividade microbiana edáfica e proporciona produtividades competitivas. Um programa técnico e computacional para recomendação de correção da acidez do solo para a cana-de-açúcar deve incluir uma criteriosa avaliação das características químicas relacionadas à acidez no perfil dos solos, para subsidiar o planejamento de ações voltadas à correção desses solos e o uso adequado de corretivos (calcário/gesso), visando ampliar a disponibilidade de nutrientes e melhorar a produtividade agrícola. (Silva, 2020).

No âmbito do projeto de pesquisa “30.21.90.004.00.00 *Aprimoramento das recomendações técnicas de correção da acidez do solo e suas implicações fitotécnicas no canaviais*” do Sistema Embrapa de Gestão (SEG), de inovação aberta em parceria com a Empresa Brasileira de Calcário Ltda (Embracal), iniciado em dezembro/2020, busca-se aprimorar a correção da acidez do perfil do solo da cana-de-açúcar com base no conhecimento da reatividade do calcário em função da origem da rocha, granulometria, profundidade de incorporação do corretivo e da resposta da cultura a doses de calcário com variações de origem da rocha, granulometria e do poder relativo de neutralização total, associado ou não à mistura com gesso agrícola (Silva, 2020).

Dentre os objetivos do projeto destaca-se o aprimoramento da metodologia de recomendação de corretivos na cultura, incorporando coeficientes técnicos obtidos na experimentação e características de origem da rocha, granulometria do produto e efeito residual no solo (Silva, 2020).

A metodologia aprimorada de recomendação de corretivos na cultura da cana-de-açúcar (MA-RCCC) é a fonte de conhecimento para o desenvolvimento do programa computacional, na forma de *Application Program Interface* (API), que implementa essa metodologia.

O processo de desenvolvimento de uma API é parte da disciplina Engenharia de Software que contempla a etapa de especificação de requisitos da área de Engenharia de Requisitos.

A Engenharia de Requisitos foca na identificação e na transformação de informações em requisitos de software. No caso deste projeto de pesquisa, as informações são fornecidas pelos profissionais especialistas no domínio de Engenharia Agrônômica para serem transformadas em requisitos da API - que implementa a metodologia MA-RCCC - pelos profissionais especialistas no domínio de Engenharia de Software.

Com o objetivo de reduzir os problemas de comunicação na troca de informações e no compartilhamento do conhecimento entre os profissionais dos dois domínios envolvidos no processo de Engenharia de Requisitos, neste projeto de pesquisa, optou-se pela adoção da técnica de Mapa Conceitual como forma de organizar e representar o conhecimento (Novak, 2010). A técnica permite capturar, junto aos especialistas do domínio de Engenharia Agrônômica, informação e conhecimento necessários para recomendação de calagem e gessagem na cultura da cana-de-açúcar e representá-los por meio de organizadores gráficos.

Este trabalho tem por objetivo apresentar a metodologia adotada para especificação de requisitos da API que implementa a metodologia MA-RCCC.

Engenharia de requisitos

A disciplina de Engenharia de Software apresenta conceitos, técnicas e ferramentas para serem aplicados durante esse processo, que inclui as etapas de especificação, projeto, codificação, validação e evolução do software (Pressman, 2009).

Durante a etapa de especificação, ocorre a definição das funcionalidades do software e das restrições ao seu funcionamento, e a referida etapa conta com a área da Engenharia de Requisitos para dar suporte à descoberta (elicitação), análise, especificação (documentação) e validação dos chamados requisitos de software (Sommerville, 2011) como mostra a Figura 1.

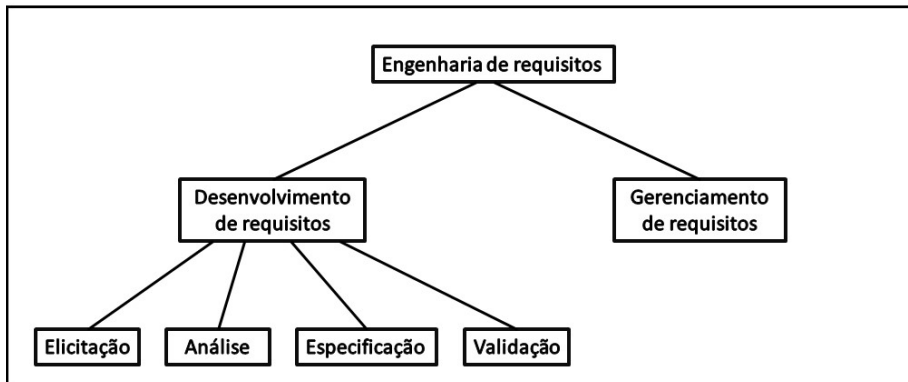


Figura 1. Atividades da engenharia de requisitos.

Fonte: Adaptado de Brito (2014).

Segundo Brito (2014, p. 16), dentro da engenharia de requisitos tem-se um ciclo que se repete várias vezes entre as atividades de desenvolvimento de requisitos, com acompanhamento durante todo o processo pela gerência de requisitos.

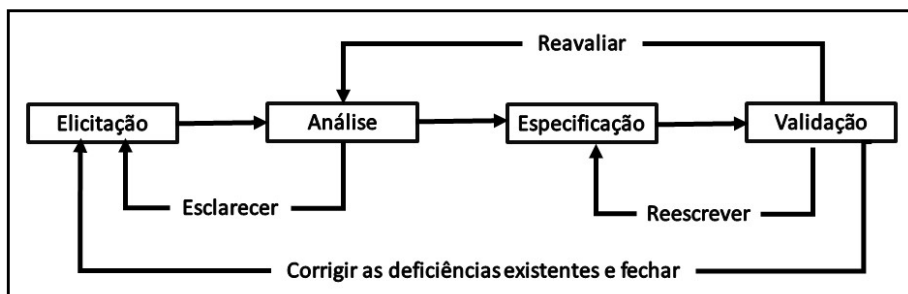


Figura 2. Ciclo de engenharia de requisitos.

Fonte: Brito (2014).

A atividade de **Elicitação** de requisitos é responsável por promover a interação dos engenheiros de software com os especialistas do domínio do conhecimento para obter informações sobre o escopo da aplicação, serviços que o software deverá prover, desempenho, do software, restrições de hardware,

entre outras. Várias técnicas podem ser usadas como entrevistas e brainstorms. (Brito, 2014).

A atividade de **Análise** consiste na classificação e organização dos requisitos com o objetivo de agrupar e organizar os requisitos em grupos coerentes. Além disso, também faz a priorização dos requisitos e, caso haja conflitos, faz negociação dos requisitos. Pode ser necessário disparar a atividade de Elicitação novamente para esclarecer dúvidas. (Brito, 2014).

A atividade de **Especificação** de requisitos é responsável pela descrição dos requisitos em um documento de registro dos requisitos. Os requisitos devem ser especificados de forma que seja: a) completo, onde se busca encontrar uma maior quantidade de informações para que não venham a faltar detalhes importantes em sua formação; b) consistente, fazendo com que não haja conflitos entre os requisitos encontrados; c) modificável, fazendo com que suas alterações sejam permitidas e seu histórico de mudanças seja mantido para controle; e d) rastreável, pode ser ligado para trás, para a sua origem e encaminhado para os elementos de design e código-fonte que o implementam e os casos de teste que verificam a implementação como correta (Wieggers; Beatty, 2013, citado por Brito, 2014).

A atividade de **Validação** dos requisitos busca a verificação com os especialistas de domínio se a descrição dos requisitos está em conformidade. As não conformidades podem ser:

- referentes à descrição do requisito e, neste caso, é preciso executar a atividade Especificação para reescrever a descrição do requisito;
- referentes à classificação e organização e/ou à priorização dos requisitos e é preciso reavaliá-las, disparando a atividade Análise;
- referentes à falha ou ausência de informações relevantes sobre o domínio e que precisam ser corrigidas, disparando a atividade Elicitação.

Mapa conceitual

A técnica Mapa conceitual permite representar e organizar o conhecimento em uma estrutura gráfica composta por conceitos e relações existentes entre estes (Novak, 2010). Os organizadores gráficos são suportes visuais para

facilitar a aprendizagem e possibilitam que conceitos sejam organizados de forma hierárquica (os conceitos mais gerais são colocados no topo da estrutura e os mais específicos vão sendo acrescentados em um nível inferior, de acordo com o seu grau de inclusão). Segundo Conceição e Correia (2020), os mapas conceituais são redes de proposições integradas com o objetivo de responder a uma pergunta focal.

Esses organizadores representam a informação e o conhecimento por meio de símbolos visuais, são suportes visuais para facilitar a aprendizagem e buscam deixar homogêneo o entendimento por todos os envolvidos. Desta forma, um mapa conceitual serve como uma transição, em termos de documentação, para diagramas usados pelos engenheiros de software para possibilitar a eles aproximarem-se ao máximo da visão dos especialistas do domínio sem, contudo, dificultar suas tarefas posteriores (Rolim; Oliveira, 2006).

Metodologia aprimorada de recomendação de corretivos na cultura da cana-de-açúcar (MA-RCCC)

A recomendação de corretivos na cultura da cana-de-açúcar envolve as práticas de manejo de solo ácido, denominadas, respectivamente, gessagem e calagem. Estas práticas requerem uma análise físico-química¹ de uma amostra do solo. O laudo desta análise deve conter, no mínimo, as seguintes informações:

- profundidade, em centímetros (cm): valores pré-definidos (de 0 cm a 20 cm; de 0 cm a 25 cm; de 20 cm a 40 cm; ou de 25 cm a 45 cm);
- pH do solo;
- cálcio (Ca), na unidade de medida $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$;
- magnésio (Mg), na unidade de medida $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$;
- potássio (K), na unidade de medida $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$;
- fósforo (P), na unidade de medida mg/dm^3 ;

¹ Unidades de medidas usadas na análise: (a) no Estado de São Paulo, $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$; (b) demais Estados, $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$.

- matéria Orgânica (M.O.), na unidade de medida **g/dm³**;
- acidez potencial (H+Al), na unidade de medida **mmol_c/dm³** ou **cmol_c/dm³**;
- alumínio (Al), na unidade de medida **mmol_c/dm³** ou **cmol_c/dm³**;
- nitrogênio (N), na unidade de medida percentual (%);
- argila, na unidade de medida percentual (%).

Gessagem

A aplicação de gesso agrícola no solo (gessagem) visa aplicar cálcio e enxofre para melhorar o ambiente em subsuperfície (camada de solo de 20 cm a 40 cm). Para solos salinos e sódicos, o gesso é utilizado, também, como corretivo. Entretanto, por ser uma fonte mais solúvel do que o calcário, o gesso não promove a neutralização da acidez do solo. Os quatro métodos utilizados para recomendação de gesso agrícola são descritos a seguir.

O método **Textura do Solo (teor de argila)** descrito por Souza et al. (2005) considera a Equação 1 para o cálculo da necessidade de gesso (NG):

$$NG \text{ (kg/ha)} = 75 \times \text{argila (\%)} \text{ ou } 7,5 \times \text{argila (Equação 1)}$$

A Tabela 1 apresenta a indicação de dosagem de gesso agrícola para cada tipo de textura de solo de acordo com Souza et al. (2005).

Tabela 1. Indicação de dosagem de gesso agrícola para cada tipo de textura de solo.

Textura do solo	Dose de gesso agrícola
	Culturas perenes Kg/ha
Arenosa (< 15% argila)	1.050
Média (16 a 35% argila)	1.800
Argilosa (36 a 60% argila)	3.300
Muito argilosa (> 60% argila)	4.800

O método **Saturação por bases** (Raij et al., 1997) visa elevar a saturação por bases (V%) para 50% quando na análise for menor que 35%. O cálculo da necessidade de gesso (NG) é apresentado pela Equação 2:

$$NG \text{ (t/ha)} = \frac{(50 - V1) \times (CTC)}{500}$$

Onde:

- NG = Necessidade de gesso em t/ha;
- V1 = Saturação por bases (V%) do subsolo (de 20 cm a 40 cm);
- CTC = Capacidade de troca de cátions (CTC) do subsolo (de 20 cm a 40 cm) em $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$;
- 500 = Estimando que 1,0 t/ha de gesso (20% umidade) equivale a 5,0 $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ de Ca.

O método **CTCe (CTC efetiva)** definido por Caires e Guimarães (2018) considera a CTC efetiva porque o gesso não exerce influência no pH e, portanto, não teria sentido usar a CTC potencial. CTCe corresponde à soma da quantidade de Ca (cálcio), Mg (magnésio), K (potássio) e AL (alumínio). O método segue a Equação 2 para o cálculo da necessidade de gesso:

$$NG = [(0,6 \times CTCe) - \text{teor de Ca}] \times 0,64 \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

- NG = necessidade de gesso (na unidade de medida t/ha);
- CTCe = Capacidade de troca de cátions efetiva;
- Ca = cálcio;
- Mg = magnésio;
- K = potássio;
- Al = alumínio;
- Teor de Ca = teor de cálcio.

A Equação 3 determina a dose de gesso para elevar a saturação por Ca na CTC efetiva a 60%. Dessa forma, o cálculo $(0,6 \times CTC_e - \text{teor de Ca})$ fornece o quanto de Ca deveria ser adicionado no solo pelo gesso.

O fator 0,64 (na unidade de medida mmol) indica que seriam necessárias 6,4 t/ha de gesso para aumentar o teor de Ca em $10 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ na camada de 20 cm a 40 cm, ou seja, transforma o teor de Ca necessário em t/ha de gesso a ser aplicado.

O método descrito em Demattê (1986) faz recomendações de doses de gesso agrícola para cana-de-açúcar (em t/ha) em função da CTC e da saturação por bases (V%) do solo, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Recomendações de doses de gesso agrícola para cana-de-açúcar em função da CTC e V% do subsolo.

CTC	V%	GESSO (t/ha)
< 30	< 10	2,0
	10 – 20	1,5
	20 – 35	1,0
30 – 60	< 10	3,0
	10 – 20	2,0
	20 - 35	1,5
60 - 100	< 10	3,5
	10 – 20	3,0
	20 – 35	2,5

Fonte: Demattê (1986) citado por Demattê (2005), Vitti e Priori (2009).

A Figura 3 mostra um esquema geral de quando aplicar o gesso agrícola, independentemente do método de recomendação de aplicação de dosagem de gesso utilizado.

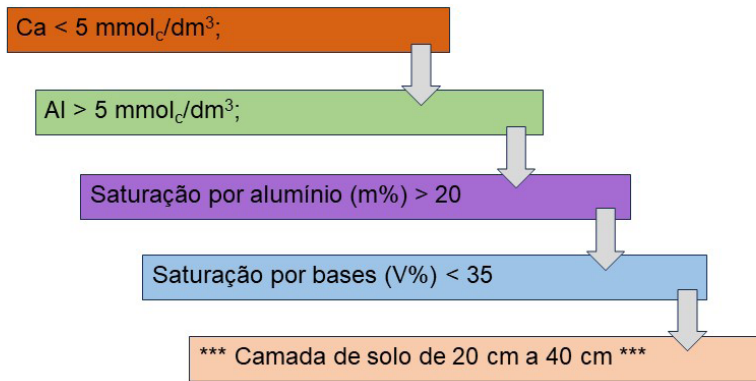


Figura 3. Quando aplicar gesso agrícola.

Aplicação de calcário (calagem)

A aplicação de calcário (calagem) tem por objetivos diminuir a acidez (ou seja, aumentar o pH do solo) e fornecer cálcio e magnésio para as plantas. É uma técnica utilizada no preparo do solo agrícola em que materiais de calcário são adicionados ao solo para neutralizar a sua acidez, aumentando assim sua produtividade e retorno financeiro. A aplicação deve ser feita na camada superficial do solo (de 0 cm a 20 cm). A seguir são apresentados os quatro métodos adotados para recomendação de calagem.

O método de **Saturação de bases** (Rajj et al., 1997) considera a necessidade de calcário (NC) de 0 cm a 20 cm e, para o cálculo da NC segue a Equação 4:

$$NC = \frac{(V_f \% - V_i \%) \times CTC}{10 \times PRNT \%} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- NC = necessidade de calcário, em t/ha;
- Vf: saturação final a ser atingida;

- Vi: saturação atual do solo (análise);
- CTC: capacidade de troca de cátions (análise);
- PRNT: do calcário a ser aplicado (informado pelo fornecedor do calcário).

O método para **Correção de profundidade (NC2)** calcula a necessidade de calagem de acordo com a Equação 5:

$$NC2 = +NC1/20 \times \text{Profundidade de incorporação (cm)} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- NC2 = correção de profundidade, em t/ha;
- NC1 corresponde ao NC do método de Saturação de Bases (t/ha);

“Profundidade de incorporação” indica a profundidade de incorporação desejada; inicia com 20 cm.

O método para **Correção de deriva² (NC3)** calcula a necessidade de calagem de acordo com a seguinte fórmula:

$$NC3 \text{ (t/ha)} = +NC2/(1 - \text{Efeito da intensidade do vento (\%)})$$

Onde:

- NC2 corresponde à necessidade de calcário calculado com a correção de profundidade, descrito anteriormente;

“Efeito da intensidade do vento” deve ser indicado o valor percentual, dividido por 100, de acordo com o tipo do calcário (“Sedimentar” ou “Metamórfico”). Para os valores de intensidade do vento, foi adotada a Escala de Beaufort (Escala..., 2020) e considerados os efeitos de “calmo” a “brisa forte”.

² Entende-se por deriva na aplicação de calcário na agricultura o percentual de perda do calcário em função da intensidade do vento no momento da aplicação do calcário.

Tabela 3. Efeito da intensidade do vento.

Efeito da intensidade do vento	Sedimentar (Deriva)	Metamórfico (Deriva)
Calmo	0%	0%
Aragem	5%	10%
Brisa leve	10%	20%
Brisa fraca	15%	30%
Brisa moderada	20%	40%
Brisa forte	Impossível aplicar	Impossível aplicar

Fonte: Adaptado de Escala... (2020).

O método para Balanço de nutrientes para calagem de Freire et al. (2015) define as etapas para cálculo da dose a ser recomendada dos diversos nutrientes com base em balanços nutricionais conforme fluxograma genérico apresentado na Figura 4. As etapas são compostas por doze passos (a serem descritos abaixo), dispostos da seguinte forma:

- produtividade esperada: passo I;
- coeficiente de utilização biológica (CUB): etapa não realizada para a implementação do software;
- demanda nutricional: passo II;
- taxa de recuperação da planta: passo III;
- requerimento da planta: passo IV;
- taxa do extrator: etapa não realizada para a implementação do software;
- nível crítico: passo V;
- disponibilidade no solo: recupera informação da análise físico-química do solo;
- balanço de nutrientes: passos VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII;
- dose recomendada: passo XIV.

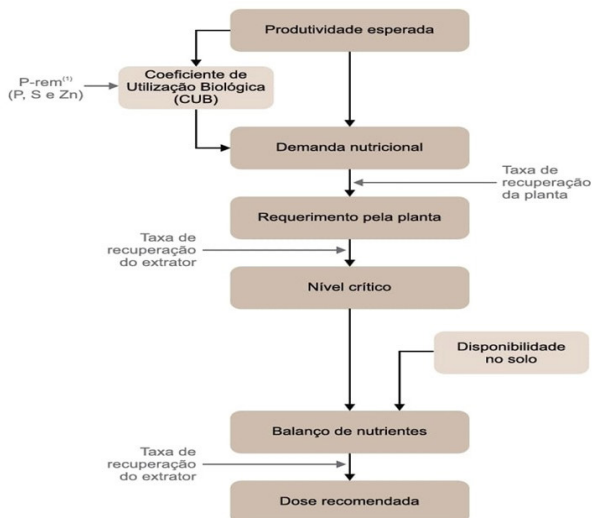


Figura 4. Fluxograma genérico para cálculo da dose a ser recomendada dos diversos nutrientes pelo sistema de recomendação de adubação e calagem com base em balanços nutricionais.

Fonte: Freire et al. (2015).

A seguir, estão descritos cada passo. Os valores grafados na cor azul indicam valores constantes. Neste documento optamos por elencar a fórmula final a ser usada na implementação do software. Os detalhes de como se chegou às fórmulas são encontrados em Freire et al. (2015).

Importante ressaltar que o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) são expressos em cmol_c e não em mmol_c porque na região Nordeste, onde foram feitos os experimentos, as empresas que emitem os laudos de Análise de Solo utilizam esta unidade de medida.

I. Definição da produtividade esperada

O usuário deve definir um valor para a produtividade esperada de colmos frescos na unidade t/ha. O valor padrão é de 100 t/ha de colmos frescos.

II. Cálculo da demanda nutricional de Cálcio (Ca) e de Magnésio (Mg)

$$\text{Demanda de Ca (YCa)} = 22,21 + 1,1745 * (\text{Produtividade esperada}) + 0,0123 \text{ (Equação 6)}$$

$$\text{Demanda de Mg (YCa)} = 21,82 + 0,3714 * (\text{Produtividade esperada}) + 0,0097 \text{ (Equação 7)}$$

III. Cálculo da taxa de recuperação

$$\text{Taxa de recuperação para Ca} = 0,48 - 0,0002 * (\text{Demanda de Ca}) \text{ (Equação 8)}$$

$$\text{Taxa de recuperação para Mg} = 0,68 - 0,0004 * (\text{Demanda de Mg}) \text{ (Equação 9)}$$

IV. Cálculo do requerimento

$$\text{Requerimento de Ca} = \text{Demanda de Ca} / \text{Taxa de recuperação para Ca} \text{ (Equação 10)}$$

$$\text{Requerimento de Mg} = \text{Demanda de Mg} / \text{Taxa de recuperação para Mg} \text{ (Equação 11)}$$

V. Cálculo do nível crítico que o solo deveria ter

$$\text{Nível Crítico de Ca que o solo deveria ter} = 0,0013 * (\text{Requerimento de Ca}) \text{ (Equação 12)}$$

$$\text{Nível Crítico de Mg que o solo deveria ter} = 0,0022 * (\text{Requerimento de Mg}) \text{ (Equação 13)}$$

VI. Cálculo do balanço nutricional

Diferença entre o que o solo tem com aquilo que o solo deveria ter, ou seja, aquilo que precisa ser acrescentado ao solo.

$$\text{Balanço nutricional para Ca} = \text{Nível crítico de Ca que o solo deveria ter} - \text{Ca na análise de solo (Ca que o solo tem)} \text{ (Equação 14)}$$

$$\text{Balanço nutricional para Mg} = \text{Nível crítico de Mg que o solo deveria ter} - \text{Mg na análise de solo (Mg que o solo tem)} \text{ (Equação 15)}$$

VII. Cálculo do cálcio Ca a aplicar em kg/ha

Transformação de $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ em kg/ha para Ca:

$$\text{Ca (kg/ha)} = (\text{Balanço nutricional de Ca}) / 0,0013 \text{ (Equação 16)}$$

Transformação de em kg/ha para Mg:

$$\text{Mg (kg/ha)} = (\text{Balanço nutricional de Mg}) / 0,022 \text{ (Equação 17)}$$

VIII. Cálculo do CaO aplicar e MgO aplicar

$$\text{CaO aplicar (kg/ha)} = (\text{Ca aplicar} * 1,4) \text{ (Equação 18)}$$

$$\text{MgO aplicar (kg/ha)} = (\text{Mg aplicar} * 1,66) \text{ (Equação 19)}$$

IX. Definição da relação CaO/MgO

Escolher dentre os diferentes tipos de calcário que estão na base dados, aquele em que a relação CaO/MgO seja mais próximo da proporção 2 para 1. De preferência, superior ao valor 2. Para este exemplo, escolheu-se o “Calcário da Embracal de Saltinho (SP) Sedimentar” que possui CaO de 24,3 e MgO de 17,3.

X. Calcário demanda Ca e Calcário demanda Mg

$$\text{Calcário demanda Ca (kg/ha)} = ((\text{CaO aplicar} * 100) / 24,3) / 1000 \text{ (Equação 20)}$$

$$\text{Calcário demanda Mg (kg/ha)} = ((\text{MgO aplicar} * 100) / 17,3) / 1000 \text{ (Equação 21)}$$

XI. Calcário demanda nutricional

Para formar a demanda nutricional adotar o maior valor entre “Calcário demanda Ca” e o “Calcário demanda Mg”.

XII. Cálculo do pH do solo após aplicação de calcário.

$$\text{Cálculo do pH do solo após aplicação de calcário} = ((\text{Calcário demanda nutricional}) * (1,4941 / (\text{H} + \text{Al}))) + \text{pH} \text{ (Equação 22)}$$

XIII. Calcário correção acidez

$$\text{Calcário correção acidez} = ((6 - \text{pH demanda nutricional}) / ((1,4941) / (\text{H} + \text{Al}))) \text{ (Equação 23)}$$

Observação: A Equação 23 deve resultar sempre num número positivo. Quando o “Calcário correção acidez” for menor ou igual a 0 (zero) significa que o solo não suporta aquela “produtividade esperada”, neste caso, deve-se, portanto, arredondar o valor para 0 (zero).

XIV.Recomendação final

Recomendação final (kg/ha) = (Calcário demanda nutricional + Calcário correção acidez) (Equação 24)

Metodologia para especificação de requisitos de software para implementar a MA-RCCC

As atividades de Engenharia de Requisitos para o software de implementação da MA-RCC foram organizadas da seguinte forma:

- composição da equipe para atuar na Engenharia de Requisitos: quatro representantes do domínio da Engenharia Agrônômica e dois engenheiros de software;
- distribuição dos documentos com antecedência para análise antes das reuniões, inclusive a MA-RCCC;
- construção de Mapas Conceituais de forma colaborativa para elicitación dos requisitos;
- construção de protótipos de telas para auxiliar na identificação das necessidades do software;
- construção coletiva do documento de requisitos;
- reuniões semanais com duração de três horas para elicitación, análise, especificação e validação dos requisitos (no período de agosto/2021 a fevereiro/2022).

A técnica de prototipação no desenvolvimento de software é um processo que tem como função avaliar as ideias geradas e validar ou não os requisitos estabelecidos. Segundo Silva et al. (2012, p. 122), “o protótipo é a tangibilização de uma ideia, a passagem do abstrato para o físico de forma a representar a realidade – mesmo que de forma simplificada – e propiciar validações”.

Para suportar a técnica de prototipação, foi adotada a ferramenta gratuita e open-source Pencil (Evolus, 2012) que permite desenhar modelos e criar protótipos exportáveis para formatos PNG, HTML ou PDF. Neste caso, protótipos de telas do software foram criados e exportados para formato PNG, para fazer parte do documento de Requisitos do Software para Recomendação de Calagem e Gessagem. Para a construção dos Mapas Conceituais, foi usada a ferramenta CMap Tools³ pelos engenheiros de software.

³ Disponível em: <https://cmap.ihmc.us/cmaptools/>.

As informações levantadas durante as reuniões com os especialistas no domínio de Engenharia Agrônômica eram organizadas pelos engenheiros de software e representadas em mapas conceituais e em protótipos de telas. Na reunião seguinte, os mapas conceituais e os protótipos de telas eram validados e o documento de requisitos construído gradualmente e também validado pelos especialistas no domínio de Engenharia Agrônômica.

Para responder à pergunta focal **o que é preciso para recomendar calagem, gessagem e adubação para a cana-de-açúcar?**, foram construídos os mapas conceituais e a Figura 5 apresenta o mapa de mais alto nível de abstração, para exemplificar. Os retângulos representam os conceitos e as setas da relação entre eles (Novak, 2010). Conceitos representados com fonte maiúscula e negrito indicam que existe uma pergunta focal para seu detalhamento.

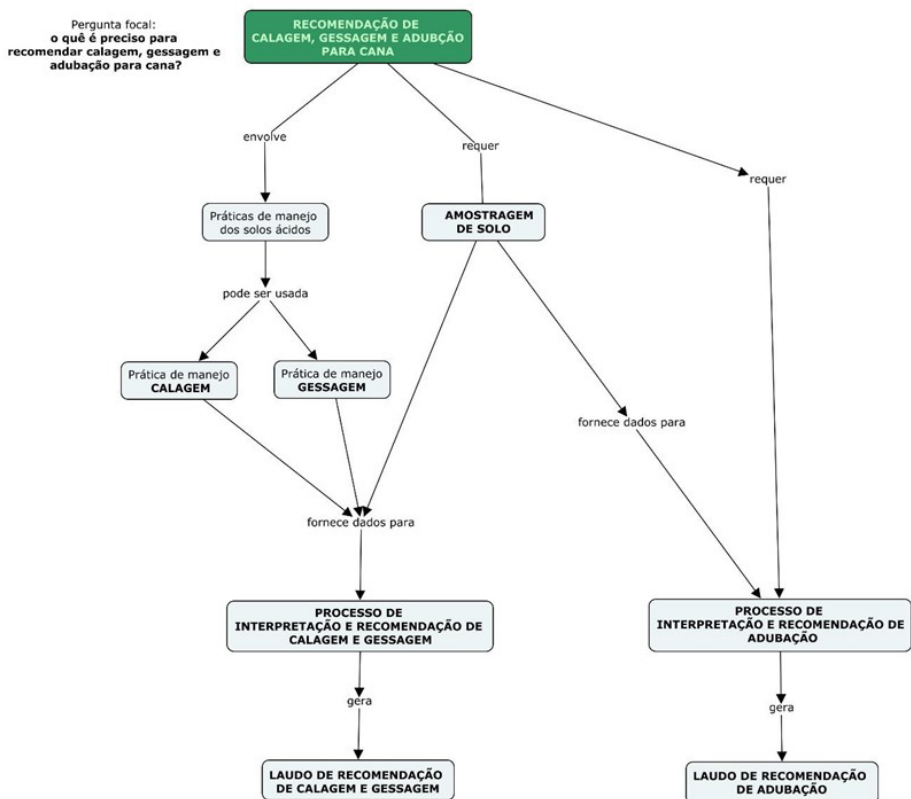


Figura 5. Mapa de Conceitos para a pergunta focal *o que é preciso para recomendar calagem, gessagem e adubação para a cana-de-açúcar?*

O documento de requisitos reúne os Mapas Conceituais para o sistema de Recomendação de Calagem, Gessagem e Adubação, os macro-requisitos deste sistema e o detalhamento dos requisitos. A Figura 6 mostra um exemplo de detalhamento para o requisito “Amostra de Solo Básica”, parte de uma tela prototipada. Para cada item deste requisito é definido: o tipo do dado (numérico, texto, lista de valores pré-definidos, data); tipo do preenchimento (obrigatório, opcional, automático); unidade de medida, se houver; quantidade de casas decimais, se o tipo do campo for numérico; formato da data, se o tipo do campo for data; intervalo de valores válidos, se houver para tipo de campo numérico; e outras informações relevantes para regras do negócio.

Para uma **Amostra de Solo Básica**, tem-se os seguintes campos de entrada:

- **Identificador da amostra:** campo numérico auto incremental preenchimento automático;
- **Data da coleta da amostra:** campo tipo data de preenchimento no formato dd-mm-aaaa;
- **Gleba:** campo texto; obrigatório;
- **Talhão:** campo texto; obrigatório;
- **Profundidade:** valores pré-definidos (0-20 cm; 0-25 cm; 20-40 cm; 25-45 cm) ou deve ser campo texto; obrigatório;
- **pH inicial do solo:** campo numérico com uma casa decimal;
- **Cálcio (Ca):** campo numérico com uma casa decimal; **unidade de Ca** (mmol/dm³, cmol/dm³);
- **Magnésio (Mg):** campo numérico com duas casas decimais; **unidade de Mg** (mmol/dm³, cmol/dm³);
- **Potássio (K):** campo numérico com duas casas decimais; **unidade de K** (mmol/dm³, cmol/dm³);
- **Fósforo (P):** campo numérico com duas casas decimais; **unidade de P** (mg/dm³);
- **Matéria Orgânica (M.O.):** campo numérico com duas casas decimais; **unidade de M.O.** (g/dm³);
- **Acidez potencial (H+Al):** campo numérico com duas casas decimais; **unidade** (mmol/dm³, cmol/dm³);

Figura 6. Exemplo da especificação de requisitos.

Considerações finais

No âmbito do projeto de pesquisa “30.21.90.004.00.00 Aprimoramento das recomendações técnicas de correção da acidez do solo e suas implicações fitotécnicas no canavia” em parceria com a Embracal, foi definido como um dos resultados o desenvolvimento do programa computacional, na forma de API, para implementar a metodologia MA-RCCC. A equipe do projeto é multidisciplinar e interdisciplinar, composta por especialistas nos domínios de Engenharia Agrônômica e de Engenharia de Software.

Para alcançar este resultado, foi estabelecida a seguinte estratégia:

- os especialistas no domínio de Engenharia Agrônômica trabalharam no aprimoramento da metodologia de recomendação de corretivos na cultura da cana-de-açúcar de dezembro/2020 até dezembro/2021;
- os especialistas no domínio de Engenharia de Software definiram as técnicas, métodos e ferramentas que seriam utilizados para a especificação dos requisitos da API, considerando a multidisciplinaridade e interdisciplinaridade da equipe e buscando facilitar a comunicação e o entendimento dos requisitos entre os membros da equipe no período de julho-agosto/2021;
- toda a equipe foi envolvida para a especificação dos requisitos da API no período de agosto/2021 a fevereiro/2022;
- os especialistas no domínio de Engenharia de Software definiram a plataforma tecnológica de desenvolvimento da API (janeiro-fevereiro/2022); as técnicas e ferramentas para validação da API (agosto-outubro/2022); iniciaram a implementação na plataforma tecnológica definida em fevereiro/2022 e deverá ser finalizada em dezembro/2022;
- toda a equipe está sendo envolvida na validação da API implementada no período de outubro-dezembro/2022.

A construção de mapas conceituais permitiu uma discussão sistematizada dos conceitos utilizados na metodologia MA-RCCC e colaborou também para ampliar o entendimento do projeto em sua totalidade. Além disso, auxiliou a organização das funcionalidades, facilitou a prototipação das telas e a identi-

ficação e elaboração dos requisitos. Apesar da API não possuir interação com usuário, também conhecido como “front-end”, o recurso de prototipação de telas foi utilizado para possibilitar uma visualização comum de possível uso da API pela equipe.

Como trabalho futuro, tem-se a finalização da implementação da API e da sua validação. Também está prevista a incorporação da funcionalidade de recomendação de adubação para cana-de-açúcar a esta API, como resultado de outro projeto de pesquisa em andamento.

Referências

BRITO, C. da S. **Uso de mapas mentais no processo de engenharia de requisitos do núcleo de práticas em informática**. 2014. 44 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Software) - Universidade Federal do Ceará, Quixadá. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/25158>. Acesso em: 2 fev. 2023.

CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. A novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1987-1995, Sept./Oct. 2018. DOI: [10.2134/agronj2017.11.0642](https://doi.org/10.2134/agronj2017.11.0642).

CONCEIÇÃO, A. N.; CORREIA, P. R. M. Por que definir a pergunta focal dos mapas conceituais é importante? A identificação de mapas superficiais sem erros conceituais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 3, p. 471-486, dez. 2020. DOI: [10.22600/1518-8795.ienci2020v25n3p471](https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n3p471).

DEMATTÊ, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Informações Agrônomicas**, n. 111, set. 2005. 24 p. Encarte técnico.

DEMATTÊ, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade: estratégia de manejo. In: SEMANA AGROINDUSTRIAL, 5.; SEMANA “LUIZ DE QUEIROZ”, 29., 1986, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1986. Mimeografado.

ESCALA de Beaufort. In: WIKIPEDIA: a enciclopédia livre. 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Beaufort. Acesso em: 31 jan. 2021

EVOLUS. **Pencil project**: an open-source GUI prototyping tool that’s available for ALL platforms. 2012. Disponível em: <https://pencil.evolus.vn/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

FREIRE, F. J.; SILVA, F. C. da; VENEGAS, V. H. A. Modelagem para fertilização e calagem na cultura de cana-de-açúcar. In: SILVA, F. C. da; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. de (ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. v. 1, pt. 3, cap. 5, p. 490-547.

NOVAK, J. D. **Learning, creating, and using knowledge**: concept maps as facilitative tools in schools and corporations. 2. ed. New York: Routledge, 2010. DOI: [10.4324/9780203862001](https://doi.org/10.4324/9780203862001).

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronômico/ Fundag, 1997. (IAC. Boletim técnico, 100). Disponível em: http://www.etecsaosimao.com.br/documentos/pdf/apoio_ao_aluno/livros/BOLETIM_100_IAC_Completo.pdf. Acesso em: 7 set. 2022.

ROLIM, L. H. M. L.; OLIVEIRA, J. M. P. de. Utilização de mapas conceituais em engenharia de software: projetando uma ferramenta case. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA. **Anais [...]**. São José dos Campos: ITA [2006], Encita 2006. Disponível em: https://silo.tips/queue/utilizaaao-de-mapas-conceituais-em-engenharia-de-software-projetando-uma-ferramen?&queue_id=-1&v=1662576658&u=MjAxLjgyLjg4LjUy. Acesso em: 19 ago. 2022.

SILVA, F. C. da **Aprimoramento das recomendações técnicas de correção da acidez do solo e suas implicações fitotécnicas no canavial**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2020. Código SEG: 30.21.90.004.00.00. Projeto em andamento.

SILVA, M. J. V. e; SILVA FILHO, Y. V. e; ADLER, I. K.; LUCENA, B. de F; RUSSO, B. **Design thinking**: inovação em negócios. Rio de Janeiro: MJV Press, 2012. 161 p.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2005. 19 p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 32). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/550796>. Acesso em: 31 jan. 2023.

VITTI, G. C.; PRIORI, J. C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao Plantio Direto. **Visão Agrícola**, n. 9, p. 30- 34, jul./dez. 2009. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade01.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

Embrapa

Agricultura Digital

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

CGPE 018425