

SENSORES DE MACRONUTRIENTES DO SOLO “ON-THE-GO” PARA FINS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR

Guilherme Martineli Sanches (Bolsista FAPESP) Henrique Leandro Silveira (Co-orientador) Paulo Sérgio Graziano Magalhães (Orientador)
(guilherme.sanches@feagri.unicamp.br) (henrique.silveira@feagri.unicamp.br) (graziano@feagri.unicamp.br)

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP

Palavras-chave: Manejo Localizado - Variabilidade Espacial - Sensores de Solo

Introdução

➤ *Agricultura de Precisão*: Método de gerenciamento minucioso do solo e da cultura, com o objetivo de minimizar e adequar as diferenças de produtividade encontradas na lavoura, tendo sempre em vista a variabilidade espacial dos solos.

➤ *Principais entraves*: Elevados custos e tempo envolvidos na análise química do solo. A redução da amostragem de solo tem sido a solução encontrada.

➤ *Objetivo*: Estudo amplo dos diversos tipos de sensores que utilizam tecnologias de sensoriamento “on-the-go” para mensurar os macronutrientes presentes no solo e/ou planta.

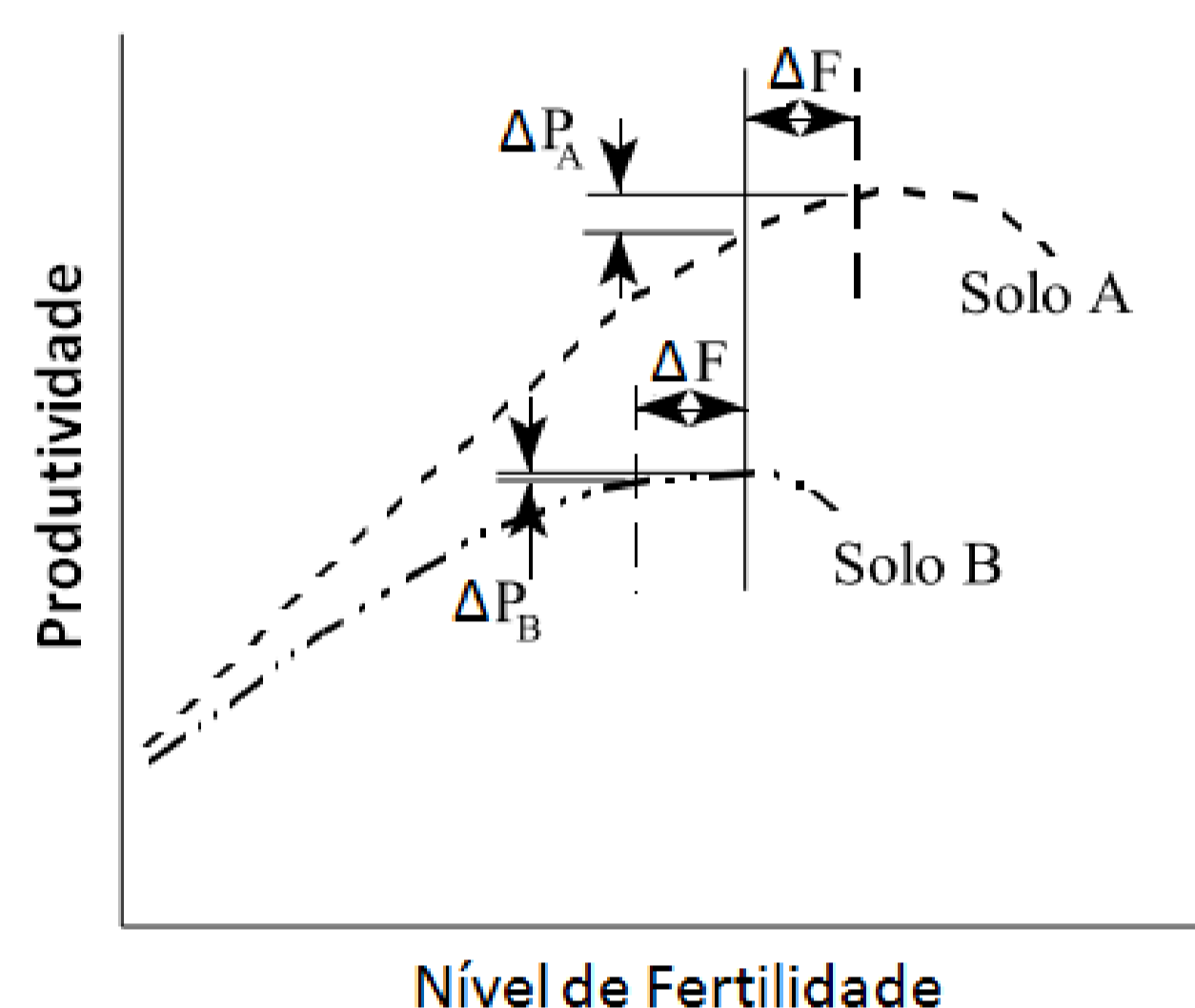
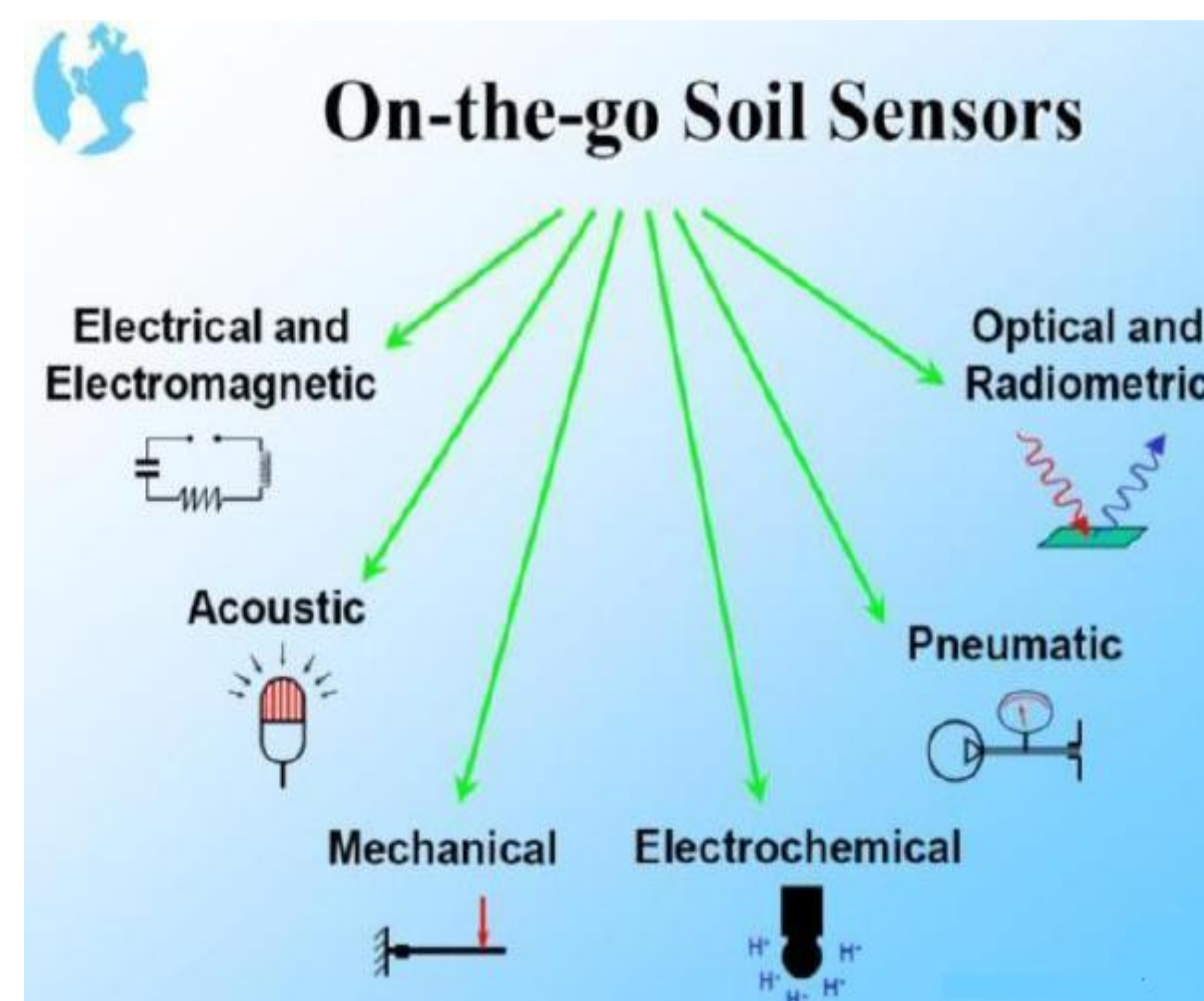


Figura 1: Resposta em produtividade da cultura como função da fertilidade do solo.

Estado da Arte

➤ *Aplicação à Taxa Variada*: Possibilidade de se alocar insumos ao solo com base nas reais necessidades de cada célula do campo.

➤ *Métodos*: A maioria dos sensores “on-the-go” de solo descritos na literatura envolve um dos seguintes métodos de medição (ADAMCHUK et al., 2004):



● **Sensores elétricos e eletromagnéticos**: medem a resistividade/conductividade elétrica, capacitância ou indutância afetada pela composição dos solos testados;
● **Sensores ópticos e radiométricos**: utilizam ondas eletromagnéticas para detectar o nível de energia refletido/absorvido pelas partículas do solo;

Figura 2: Métodos utilizados por sensores de solo “on-the-go”. Fonte: Adamchuk (2007).

● **Sensores mecânicos**: medem a força resultante de uma ferramenta envolvida com o solo; ● **Sensores acústicos**: quantificam o som produzido por uma ferramenta em interação com o solo; ● **Sensores pneumáticos**: avaliam a capacidade de injetar ar no solo; ● **Sensores eletroquímicos**: utilizam membranas de íon-seletivo que produzem uma tensão de saída em resposta a atividade de íons selecionados (H⁺, K⁺, NO₃⁻, Na⁺, etc.).

Resultados e Discussão

➤ Princípios utilizados pelos sensores e quais propriedades do solo cada sensor é capaz de medir.

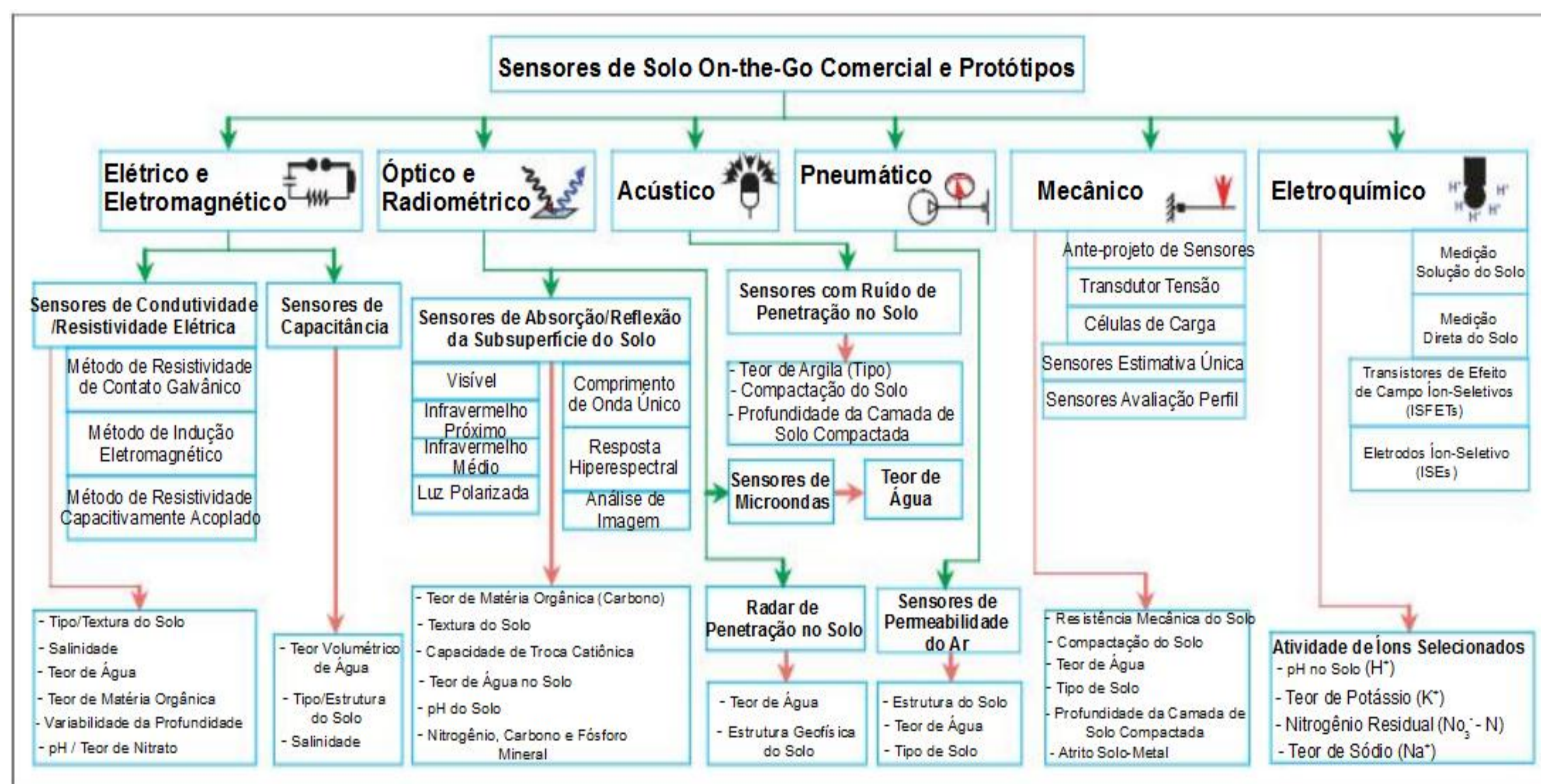


Figura 3: Classificação dos sistemas de sensoriamento “on-the-go” (Adaptado de ADAMCHUK, 2006).

➤ *Mapeamento de Sensores*: A Tabela 1 apresenta as informações sobre o mapeamento de sensores realizado.

➤ *Métodos de Sensoriamento Promissores*:

Sensores Ópticos

Infravermelho: *Vantagens* - Método rápido e não destrutivo, tendo o potencial de mensurar o nitrogênio e o fósforo no solo. *Desvantagens* – Estimativas pobres em níveis críticos de macronutrientes, forte influência dependente do tipo de solo analisado e não mensuração do potássio.

Raios-X: *Vantagens* - Método rápido e não destrutivo, tendo o potencial de mensurar o fósforo e o potássio no solo. *Desvantagens* – Ainda não possui a capacidade de mensuração do nitrogênio.

Sensores Eletroquímicos

ISE (Eletrodo Íon-Seletivo) / ISFET (Transistor Íon-Seletivo de Efeito de Campo): *Vantagens* - Método rápido e alta sensibilidade de aferição. *Desvantagens* – Ritmo lento na extração do solo e nutrientes, eletrodos de durabilidade limitada e recalibração frequente.

➤ *Tecnologias e Técnicas Promissoras*: **Sistemas Especialistas; Fusão de Sensores; Susceptibilidade Magnética; Ferramentas Geoestatísticas.**

Conclusões

- Sensores Ópticos apresentam elevado potencial de mensuração dos macronutrientes no solo.
- Limitações: Obtenção das características físicas e químicas do solo e/ou planta de forma rápida e a um baixo custo.
- Sensores para avaliar N, P e K no solo estão em fase de pesquisa e desenvolvimento em sua maioria.

Empresa / Centro de Pesquisa	Sensor / Equipamento	Solo / Planta	Princípio de Aferição	Propriedade Mensurada	Pesquisa / Comercial
Falkner	Hydrofarm	Solo	Elétrico	Umidade do Solo	Comercial
	PenetroLOG	Solo	Mecânico	Compactação	Comercial
	SoloStar	Solo	Mecânico	Compactação	Comercial
	ClorofilLOG	Planta	Óptico	Nitrogênio	Comercial
Jacto	SoloTrack	Solo	Mecânico	Compactação	Comercial
	Green Seeker	Planta	Óptico	Nitrogênio	Comercial
UFPB	Crop Circle	Planta	Óptico	Nitrogênio	Comercial
		Solo	Eletroquímico	NO ₃ ⁻ e NH ₄ ⁺ , K ⁺ , HPO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ pH e temperatura do solo	Pesquisa
Campbell Sci	TriScan Sensor	Solo	Capacitância	Concentração de Fertilizante no Solo	Comercial
Agrocom	Crop Meter	Planta	Óptico	Nitrogênio	Comercial
Topcon	Crop Spec	Planta	Óptico	Nitrogênio	Comercial
Yara	N-Sensor	Planta	Óptico	Nitrogênio	Comercial
	N-Sensor ALS	Planta	Óptico	Nitrogênio	Comercial
Veris	EC Mapper	Solo	Eletrodos	Condutividade Elétrica (CE)	Comercial
	Optic Mapper	Solo	Óptico	Textura do Solo/Matéria Orgânica	Comercial
	Veris pH Manager	Solo	Eletroquímico	pH	Comercial
Ntech	NIR-Spectrophotometer	Solo	Óptico	Nitrogênio/Carbono/Teor de Água	Comercial
Fritzmeier	Green Seeker RT200	Planta	Óptico	Nitrogênio	Comercial
	N-Laser Sensor	Planta	Óptico	Nitrogênio	Comercial

Tabela 1: Mapeamento dos sensores.

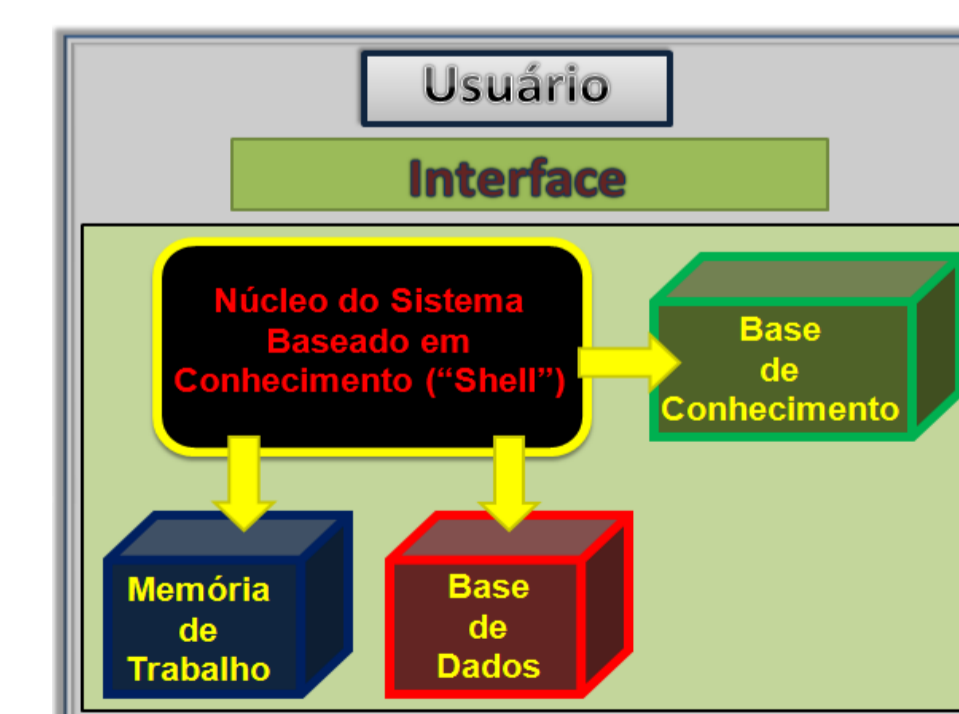


Figura 4: Estrutura de um Sistema Baseado em Conhecimento

Agradecimentos