

## DESENVOLVIMENTO PRELIMINAR DE UMA SONDA DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLOS COM BASE NO APARELHO BUCAL DE INSETOS E NO COMPORTAMENTO DO GLOBO OCULAR À FOCALIZAÇÃO E TRANSCRIÇÃO DE IMAGEM

Daniel de Matos Luna dos Santos, [dantmec@gmail.com](mailto:dantmec@gmail.com)

Fernando Lima de Oliveira, [Fernandololiveira@cct.uema.br](mailto:Fernandololiveira@cct.uema.br)

Denner Guilhon, [dennerguilhon@cct.uema.br](mailto:dennerguilhon@cct.uema.br)

Universidade Estadual do Maranhão; Campus Universitário PauloVI, Tirirical, CEP 65055-310;  
Universidade Estadual do Maranhão; Campus Universitário PauloVI, Tirirical, CEP 65055-310;  
Universidade Estadual do Maranhão; Campus Universitário PauloVI, Tirirical, CEP 65055-310;

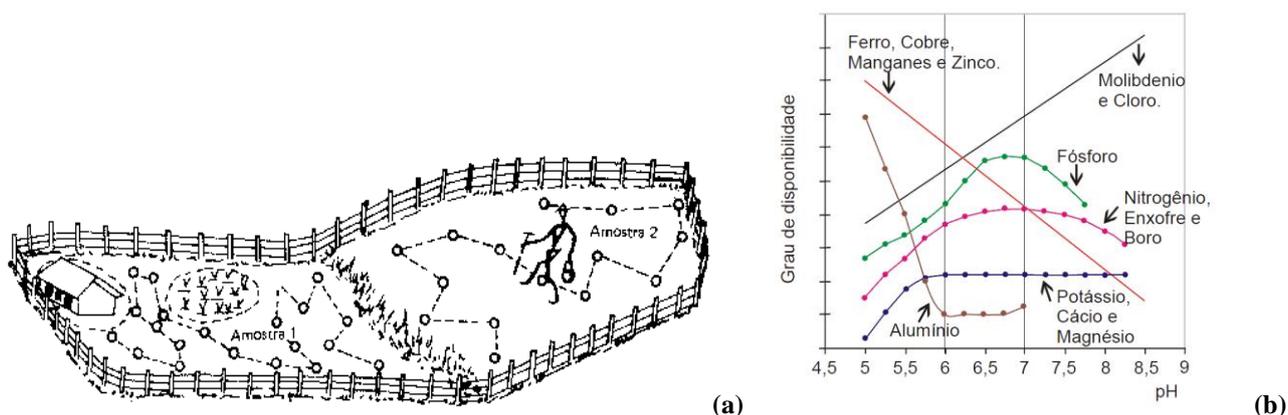
**Resumo:** *O presente trabalho vem apresentar o desenvolvimento preliminar de uma sonda automatizada para análise química de solos que foi desenhada a partir de estudos sobre o comportamento do globo ocular (controle de focal através de variação da distância entre o nervo óptico e a pupila), além de análises das peças bucais de insetos do aparelho tipo lambedor (o sistema de colheita de amostra foi desenvolvido com base nos movimentos rotacionais incompletos que as peças como a língua e mandíbula no caso das abelhas, ou dos lábios e estiletes no caso das moscas). Os sistemas mecânicos e eletrônicos objetivam a simplicidade de uma análise química por coloração, realizada em partículas sólidas e líquidas, inicialmente buscando resultados quanto à previsão de PH e análises biológicas (réplica de um microscópio foi automatizado e acoplado à sonda durante o desenvolvimento para verificação de resultados). Uma matriz porosa em rotação realiza o trabalho de recolhimento das amostras, (preparada através de sistema aspersor de indicador ácido-base). A metodologia utilizada propôs a análise de problemas em automatização de sensores químicos, objetivando o desenho, dimensionamento e construção voltados para a formação de um equipamento a ser utilizado em plataformas robóticas, ou de uso manual. Nos testes foram observados uma esperada simplificação em automatização de análises químicas de maior complexidade.*

**Palavras-chave:** *Desenvolvimento1, Análise Química 2, PH, Sonda 4, Automatizada 5*

## 1. INTRODUÇÃO

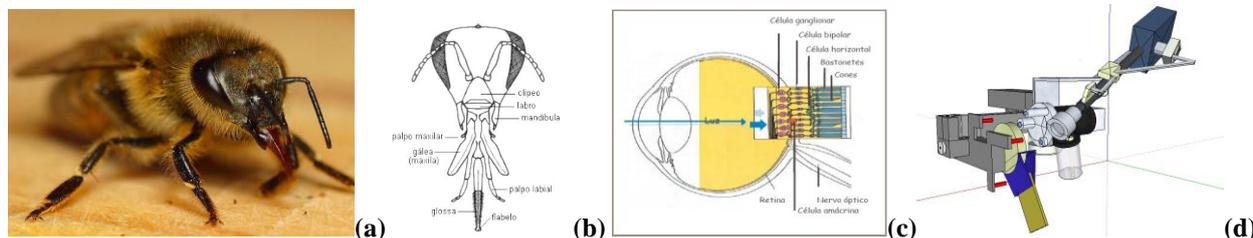
A análise de solos se caracteriza como a etapa mais importante antes do processo de adubação e posterior plantio das culturas no território nacional. Uma sondagem prévia baseada em amostras de solo na área plantada da propriedade agrícola responde pelo sucesso e otimização dos resultados da colheita. Atualmente, a análise de solos é realizada através da coleta de amostras, estas, catalogadas e levadas ao laboratório, onde os nutrientes do solo serão separados e analisados juntamente com outras propriedades, como o PH (Potencial Hidrogeniônico), concentrações de elementos (Cálcio, Magnésio, Potássio, Ferro...), determinação de matéria orgânica dentre outras análises.

O PH é uma das propriedades químicas mais importantes, no caso da análise de fertilidade, devido a sua capacidade de diminuição de absorção de nutrientes pelas plantas, logo seu mapeamento é de extrema importância ante à análise de solo.



**Figura 1 – Diagrama de retirada de amostras em uma propriedade (fonte EMBRAPA) (a); Gráfico do grau de disponibilidade dos nutrientes em função do PH do solo (faixa ideal entre 6 e 7, faixa de maior disponibilidade de nutrientes) (fonte ADAPTA SERTÃO) (b)**

Vários métodos de análise do PH (eletroquímicos, e cromatográficos) em suas variações, são utilizados por laboratórios (eletroquímicos em sua maioria, devido à precisão) e técnicos de campo (cromatográficos em geral devido à simplicidade e baixo custo). O projeto da sonda de análise de solos propõe uma análise mais precisa do PH pelo método colorimétrico, através da automatização do processo de retirada superficial do solo, por um mecanismo semelhante ao aparelho lambedor de abelhas e, transcrição do processo de imagem, baseado no funcionamento do globo ocular (que também serviu de base para o estudo e desenvolvimento das câmeras digitais atuais), devido a sua alta capacidade de focalização de imagens na retina, assim como a separação seus componentes RGB e correções com base em fatores como luminosidade, no córtex visual.



**Figura 1- Abelha e seu aparelho lambedor (a); Aparelho lambedor e suas respectivas partes (b); Globo Ocular e fenômeno de transcrição da imagem pela retina (c); Esboço da sonda de análise de solo que tem como base os sistemas anteriores (d)**

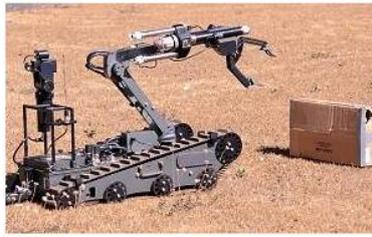
A análise cromatográfica (visual) é utilizada em casos onde não há necessidade de uma precisão numérica quanto ao valor do PH, mas sim, uma necessidade quanto à caracterização de uma substância em ácida ou básica (que no presente trabalho é caracterizada como uma solução com particulado em suspensão referente ao solo analisado), podendo obter-se faixas intermediárias, de acordo com a acurácia da análise por parte do técnico de campo. Sendo o método de análise mais simples e de menor custo, em relação aos métodos eletroquímicos, a sua otimização e automação (á nível primário e superficial, possuindo como objetivo abrir caminho para novas tecnologias), é a principal finalidade deste trabalho.

## 2. AGRICULTURA MAPEADA E SETORES AFINS

Atualmente, o mapeamento de solos por parte dos grandes e médios produtores, tanto no Brasil, como em outras partes do mundo, tem levado a pesquisa de várias soluções no que se relacionam a análise de solo (composição química e umidade basicamente). No entanto, ainda são muito escassas, as análises via equipamento automatizado, ou plataforma rádio- controlada, em comparação à análise visual e científica que um técnico ou laboratórios, podem realizar com o uso de técnicas nem tanto sofisticadas.



(a)



(b)



(c)

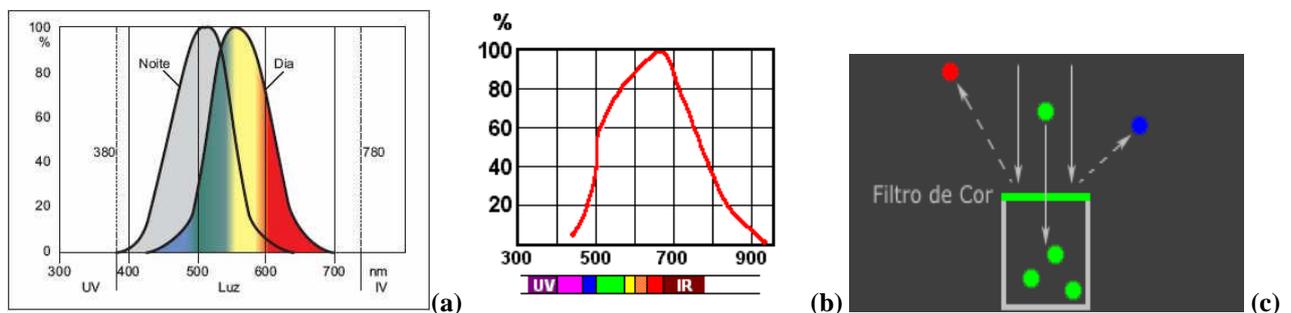
**Figura 2 - Robô sendo utilizado para mapeamento e semeadura em plantações (Fonte INOVAÇÃO TECNOLÓGICA) (a); Robô anti-bombas adquirido pela Polícia Federal Brasileira (Fonte INOVAÇÃO TECNOLÓGICA) (b); Robôs de alta tecnologia cuja finalidade são análises químicas do solo e atmosfera já são uma realidade (Robô Skinny desenvolvido e já apresentado pela USP em 1999 para análises de solo em culturas brasileiras) (Fonte USP- Laboratório de Robótica Agrícola) (c)**

No setor agrícola brasileiro, assim como áreas de mapeamento de resíduos tóxicos e inflamáveis, a necessidade de pesquisas intensas com relação a realização dos mais diversos experimentos sem a manipulação ou uso da visão humana, torna o desenvolvimento de sensores e a análise de solo, questões cruciais a serem solucionadas, (o desenvolvimento desta sonda tem o objetivo de amenizar esta situação).

### 3. SENSORES EM PLATAFORMA

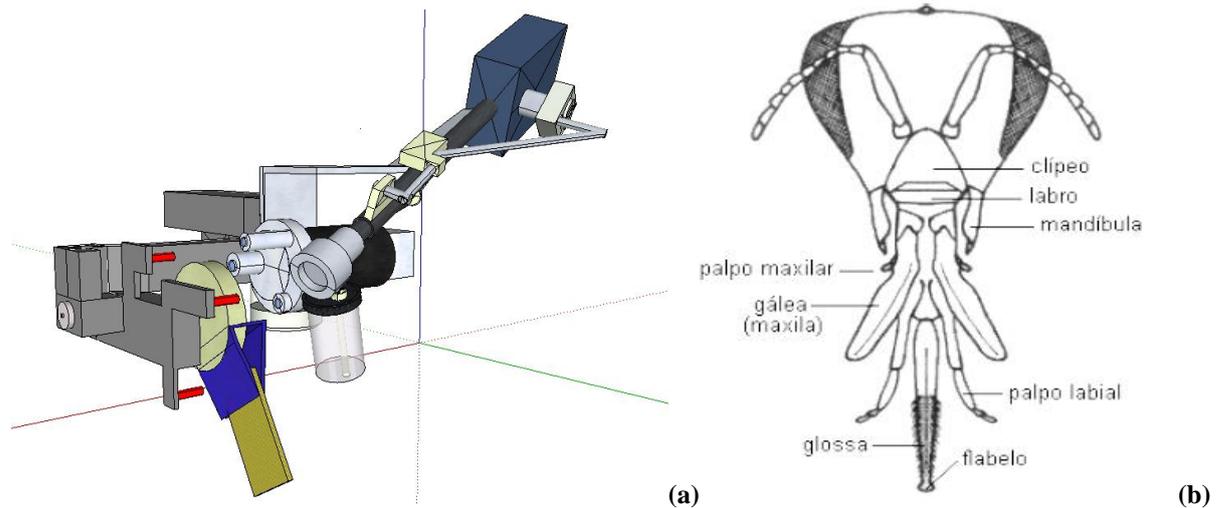
Dos vários tipos de transdutores que podem ser utilizados para mapear um fenômeno físico ou químico, os sensores ópticos se apresentam com uma grande potencialidade quanto à análise espectral, aspectos químicos e cromatográficos de substâncias analisadas e análise de fenômenos físicos. A sonda robotizada, com um sistema de posicionamento articulado, permite o preciso deslocamento angular, objetivando a implantação dos sensores referentes à captação de imagem e sistemas auto- limpantes.

A finalidade destes sensores e do sistema de posicionamento, é a coordenação do experimento de medição cromatográfica do PH, além da sua quantificação através de software de transcrição de matiz (cor ou comprimento de onda), transformando uma análise visual qualitativa em um relatório quantitativo das condições do solo ou resíduo adsorvido.



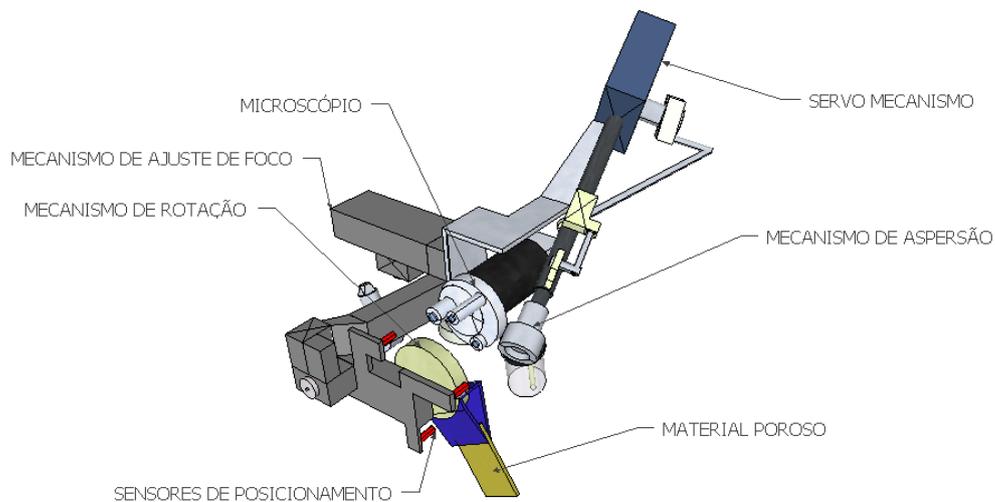
**Figura 3 - Curva de sensibilidade do olho humano aos comprimentos de onda durante o dia e durante a noite (a); Curva característica da porcentagem de absorção de radiação de um LDR (LIGHT DEPENDENT RESISTOR) em função dos comprimentos de onda que o sensor absorve (em nm) (b); Sistema de absorção fotônico de uma câmera digital (c)**

Estas curvas caracterizam as faixas de comprimento de onda a que o ser humano consegue perceber em relação ao sensor LDR, muito utilizado no mercado, o que demonstra a vulnerabilidade da análise por um indivíduo, considerando a parte “industrial” da faixa de comprimentos de onda que corriqueiramente é caracterizada por “Braga *et al.* (2005), como a mais utilizada pelos vários tipos de sensores (faixa UV e IR), nos mais diversos ramos da automação”. Os sensores químicos utilizados atualmente apresentam várias limitações quanto ao ambiente, principalmente no caso dos ópticos e químicos, quanto à “SUJEIRA NO SENSOR”, ocasionada basicamente pelo contato com sedimentos úmidos em solo, ou por atração eletrostática, limitando o número de experimentos a serem feitos em uma lavoura em situações reais, inviabilizando a utilização de sistemas automatizados em muitas aplicações agrícolas. O sistema de sondagem proposto utiliza sensores de mapeamento de posicionamento, obtendo desta forma a capacidade de atuação dos sistemas auto- limpantes desenvolvidos, aumentando a repetibilidade nas análises e amenizando os custos com sistemas de descarte de amostras.



**Figura 4- Sonda de análise superficial de solos juntamente com seus respectivos sensores (a); Aparelho bucal tipo lambedor e suas respectivas partes (verificação de desing e semelhança quanto às soluções adotadas, encontradas pela natureza) (b)**

Os sistemas apresentados pela sonda, além de simplificarem o processo de automatização da medição do PH, devido ao sistema de rotação não completa, utilizado também pelos insetos, proporciona uma grande variedade de passos a serem executados (característica das análises químicas) em um simples movimento, atenuando drasticamente o número e a complexidade dos sistemas de transporte da amostra (sem interferência) em cada um dos passos da análise.

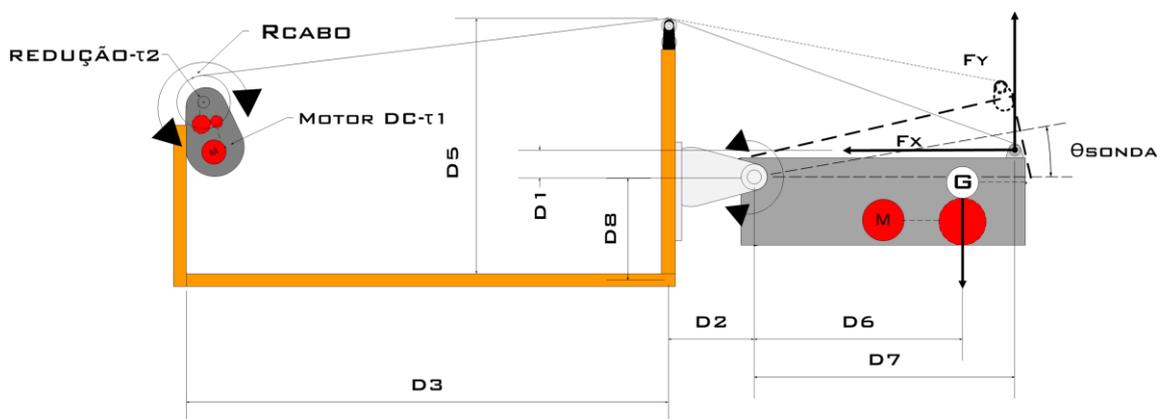


**Figura5- Sonda de análise de solo e descrição inicial de suas partes básicas**

#### 4. POSICIONAMENTO E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

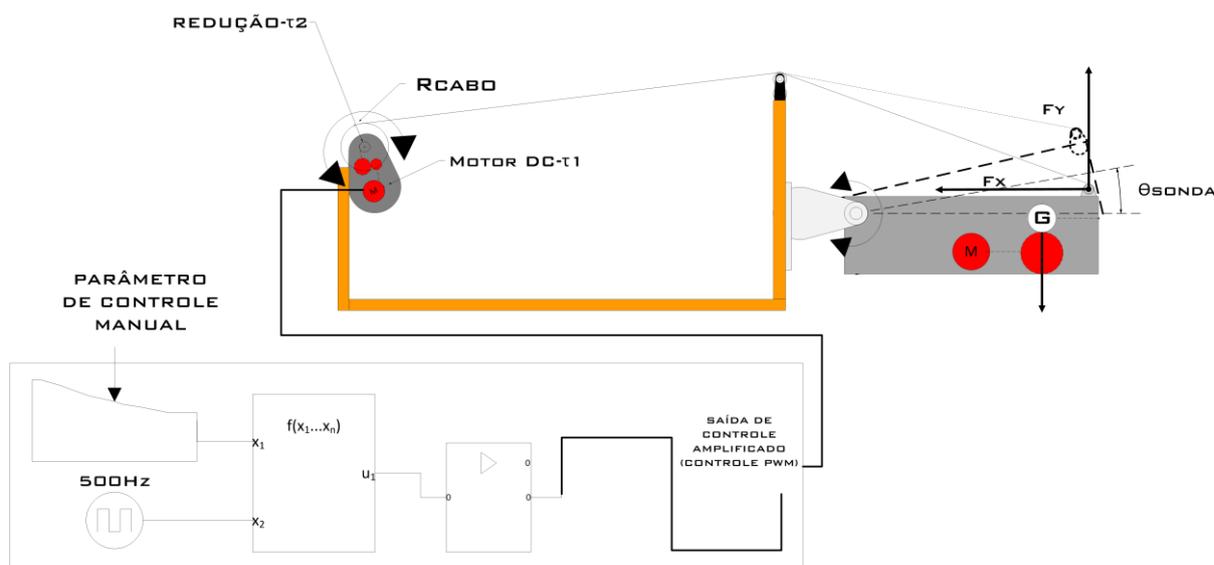
A sonda, através de um mecanismo de posicionamento articulado, baseado no controle de motores de corrente contínua (DC), através da modulação por largura de pulso (PWM), adquire, em princípio, um preciso deslocamento angular, objetivando a implantação do mecanismo de retirada superficial de amostra do solo e posterior deslocamento radial para tratamento da mesma.

O sistema mecânico rotulado, confere o movimento radial (1GDL- Grau de liberdade), acompanhado pelo sistema de rotação do material poroso, também modelado por 1GDL, acionado por um mecanismo motor-reductor, com controle de ângulo baseado em sinal PWM, somado ao tempo de acionamento em segundos (s).



**Figura 6 - Sistema de posicionamento da sonda (mecanismo de 1GDL-Grau de Liberdade)**

O deslocamento angular de todo o equipamento da sonda, se faz através de um conjunto motor-redução- sistema caracterizado por “Beer *et al.* (1997) de içamento por cabo, objetivando a redução da potência do motor elétrico a um custo do aumento da relação de transmissão no conjunto de engrenagens, conseqüentemente reduzindo o seu peso e volume ocupado, caracterizando também uma significativa diminuição da distância entre a rótula e o suporte de içamento do cabo”. A rótula do sistema de posicionamento tem como ponto de fixação um suporte aparafusado, a princípio desenhado em Alumínio, mais que pode apresentar variantes no processo de construção devido às diferentes funções e locais a que o sistema poderá ser submetido.



**Figura 7 – Diagrama mecânico, juntamente com o diagrama de controle**

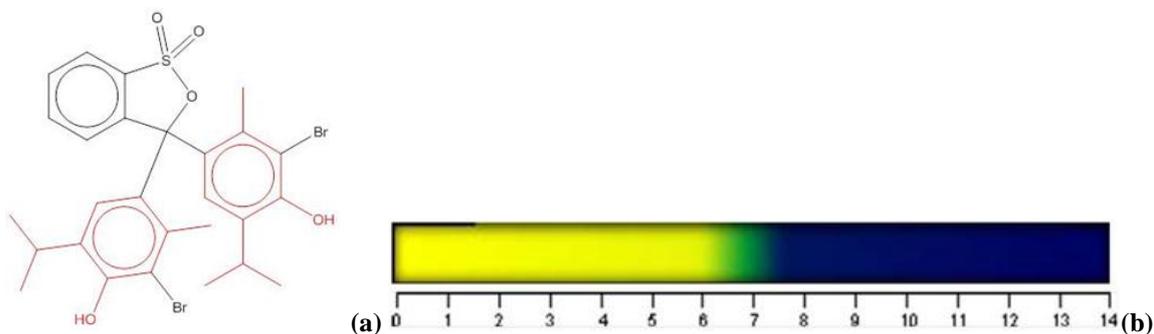
O circuito eletrônico de controle deve contemplar, inicialmente, o mecanismo de posicionamento, realizado através do controle da corrente, pela modulação da largura dos pulsos elétricos, caracterizado por “Braga *et al.* (2005) como PWM (em inglês) e polaridade (comanda o sentido de rotação do motor elétrico utilizado na sonda- motor DC- Corrente Contínua, em inglês)”

As etapas de potência e controle de rotação do material poroso para a análise ainda estão sendo desenvolvidas com a mesma metodologia, proporcionando para os sensores colorimétricos um posicionamento necessário à posterior focalização e operação dos mesmos, além de sistemas de alimentação e tratamento de sinais, gerando uma portabilidade quanto ao fornecimento de energia e sinais que os sensores necessitam para operar satisfatoriamente.

## 5. A ANÁLISE DO PH (SISTEMAS E QUÍMICA UTILIZADOS)

A análise do Potencial Hidrogeniônico é realizado através da aspersão de um indicador ácido/base fracos, mais especificamente, aspersão de uma substância indicadora em meio aquoso, no material poroso que se encontra na extremidade frontal da sonda, encharcado de partículas de solo ou resíduo químico e, através do escoamento da

mesma pelo material particulado, além da adsorção pelo material poroso, ocorrerá, em princípio, uma reação de indicação aproximada da amostra particulada sobre o material poroso. Ao ser direcionada para o microscópio, este realizará, em princípio, a focalização da imagem do material poroso, somado ao material particulado e assim, através de software, realizar comparações com base em banco de dados, retornando em resultados quantitativo e qualitativos a respeito do PH amostra analisada.

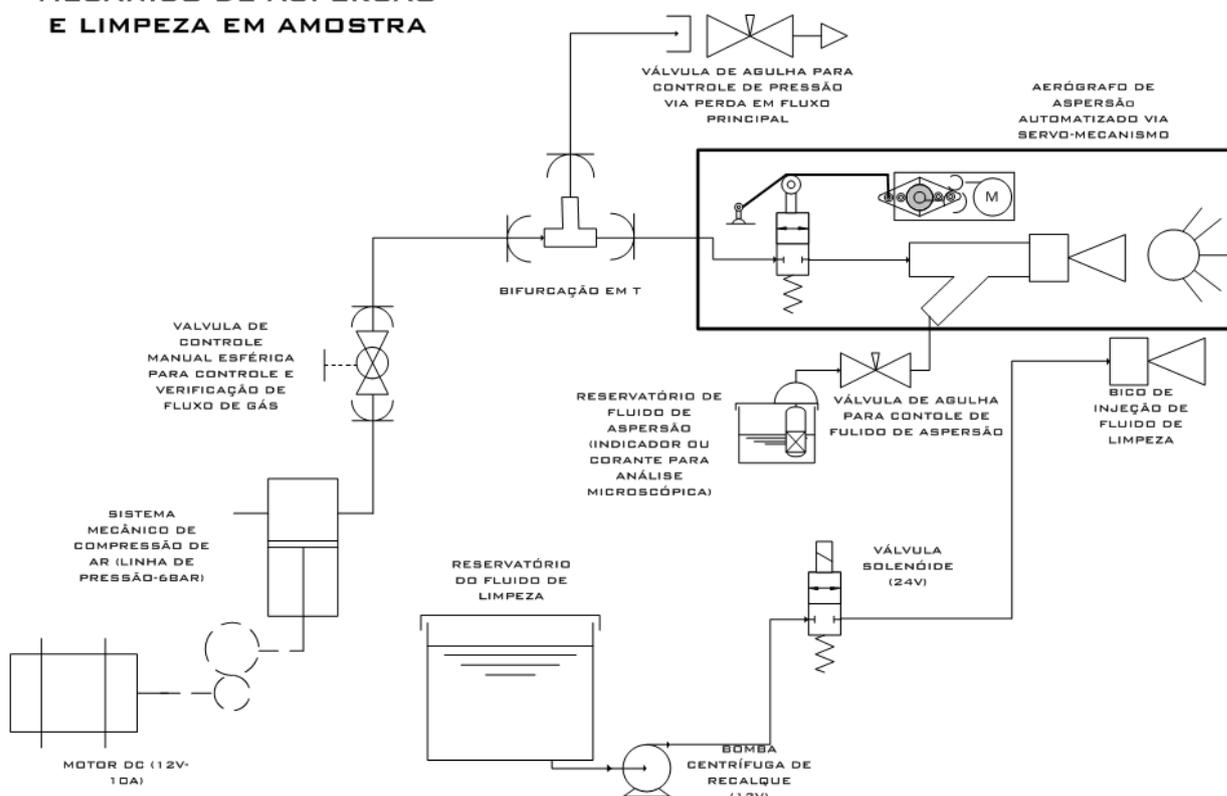


**Figura 8 – Molécula de Azul de Bromotimol (Fonte Wikipedia) (a); Espectro de cores do azul de Bromotimol em função do PH (Fonte Wikipedia) (b)**

A substância utilizada inicialmente como indicador ácido/base fracos é quimicamente um composto caracterizado por “Domingos *et al.*(2014), de duas moléculas do monoterpene fenólico conhecido como timol, contendo um átomo de bromo ligado ao anel aromático na posição orto à metila, e um anel benzênico ligado a um ester sulfônico cíclico, vendido comercialmente na forma de pó químico”, denominado usualmente de Azul de Bromotimol, foi escolhido como indicador, devido inicialmente a sua padronização como indicador de ácido/base fracos (contemplando a sua escala de cor e ponto de viração “Fig. 8”) e, posteriormente, pela sua simplicidade quanto ao uso e estabilidade em temperatura ambiente, requisitos essenciais ao projeto da sonda.

O sistema de aspersão de indicador químico também é controlado pela modulação por Largura de pulso (PWM- em inglês) com o simples objetivo de amenizar as vibrações transferidas à sonda no movimento da mesma em funcionamento, aumentando a precisão e suavidade nos movimentos (isso significa um controle mais simples e menos dedicado a regulagem e amortização de solavancos gerados pelos pelos motores DC). É de fundamental importância que o sistema controle, de forma satisfatória, a quantidade de substância indicadora com um alto índice de repetibilidade, gerando, conseqüentemente, análises mais confiáveis.

**SISTEMA FLUIDO-  
 MECÂNICO DE ASPERSÃO  
 E LIMPEZA EM AMOSTRA**





### Figura 11 - Diagrama da metodologia de pesquisa adotada

## 7. CONCLUSÃO E RESULTADOS

Os trabalhos realizados em laboratório, além do acompanhamento feito com testes em bancada e testes de solo, mostraram que o desenvolvimento preliminar da sonda de análise de solos, apesar de primário, é um simples e preciso controle de movimentos em locais com espaço limitado, principalmente na operação de análise químicas automatizadas (no caso desta, primeiramente foi objetivada pesquisas em robótica aliadas à perfuração superficial automatizada e análise do PH, na área de agricultura mapeada), tornando esta uma realidade, mesmo sendo construído inicialmente com materiais alternativos e ainda com um grande número de adaptações.

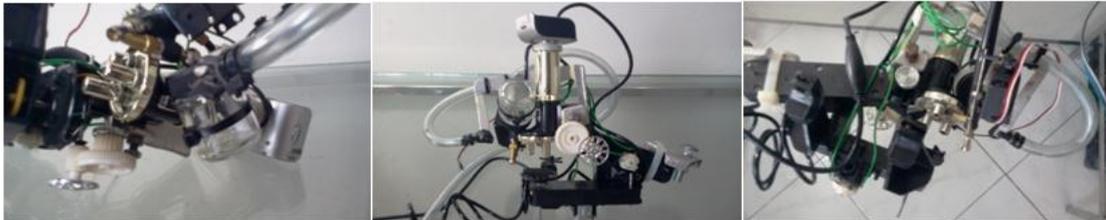


Figura 12 – Sonda de análise de solo (protótipo inicial ainda em desenvolvimento)

Os mecanismos utilizados para análise de solo, principalmente o sistema de microscopia óptica, foi separado, posteriormente ao primeiro protótipo, devido a alta complexidade do sistema e baixa relação custo benefício, restando somente o sistema de transcrição digital de imagem, sem muitos instrumentos ópticos, o que resultou em imagens satisfatórias.

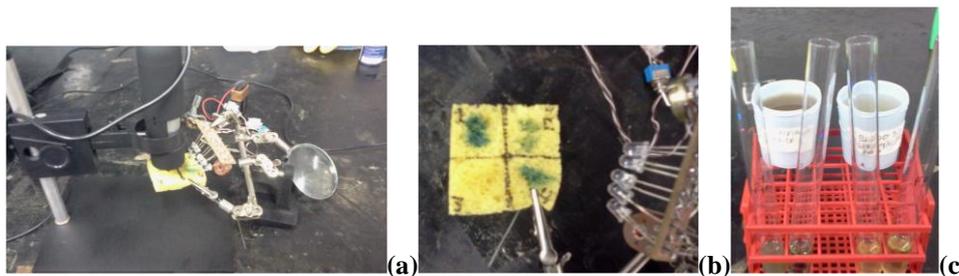


Figura 13- Experimento realizado com o microscópio e fontes pontuais de fótons para validação da transcrição de imagem (a); Material poroso sendo testado juntamente com amostras indicadas por aspersão para validação de resultados cromatográficos (b); Substâncias analisadas representam os tipos de solo (frascos) e substâncias indicadas (tubos de ensaio)

O sistema de microscopia óptica, ao ser separado do sistema geral da sonda de análise de solos, foi substituído por um sistema digital, o que facilitou a transcrição dos resultados iniciais quanto à indicação das substâncias, sendo agora desenvolvido paralelamente a análise cromatográfica dos resíduos químicos.



Figura 14- Esponja vegetal utilizada como material poroso observada ao microscópio (a); Esponja com fluido de lixiviação somado ao indicador ácido/base fracos, observado ao microscópio(b); Esponja vegetal utilizada como material poroso, observada por uma câmera RCA, proposta ao projeto como simplificação(c)

As análises realizadas através do microscópio digital com aumento de aproximadamente 1000X (aproximadamente mil vezes), (ajuste de foco manual), sendo incididas por luz branca, esta, gerada por película de fósforo irradada na região UV (aproximadamente 380nm-UV A), sistema utilizado nos diodos emissores de luz e lâmpadas fluorescentes. Foram realizados experimentos com o material poroso, seco e umedecido com fluido de lixiviação de solo in natura, para observação de parâmetros iniciais quanto às mínimas e respectivas mudanças de coloração.

## 8. REFERÊNCIAS

- Beer Ferdinand P.; RUSSELL E. JOHNSTON, Jr.; Willian E. CLAUSEN., 1997, “Vector mechanics for engineers”, (Dinâmica- e.d 7), p 601-612, Mc. Graw Hill
- Braga Newton C., “Eletrônica Básica para Mecatrônica”, 2005 ( e.d 1.) p 9-157, Editora Saber
- Meriam J.L.; L.G.KRAIGE., 2004, “ENGINEERING MECHANICS V1-STATICS”, (e.d 5.) p159-168; p298-304, LTC
- Natale Ferdinando, 2008, “Automação Industrial”, (e.d 10. Revisada) Ferdinando Natale 1946- p 1-98, São Paulo , ÉRICA,
- Domingos C.T. HANNAH, 2013, “Azul de Bromotimol,  $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$ ”, UFRJ, <http://qnint.s bq.org.br/qni>

## RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

### PRELIMINARY DEVELOPMENT OF A PROBE OF CHEMICAL ANALYSIS OF SOILS BASED ON ORAL APPLIANCE OF INSECTS AND THE BEHAVIOR OF EYEBALL TO FOCUS AND TRANSCRIPT OF IMAGE

Daniel de Matos Luna dos Santos, [dantmec@gmail.com](mailto:dantmec@gmail.com)

Fernando Lima de Oliveira, [Fernandololiveira@cct.uema.br](mailto:Fernandololiveira@cct.uema.br)

Denner Guilhon, [dennerguilhon@cct.uema.br](mailto:dennerguilhon@cct.uema.br)

Maranhão State University, Campus Paul VI, Tirirical, CEP 65055-310;  
Maranhão State University, Campus Paul VI, Tirirical, CEP 65055-310;  
Maranhão State University, Campus Paul VI, Tirirical, CEP 65055-310;

**Abstract.** *The present work report the preliminary development of a probe for automated chemical analysis of soils that was drawn from studies on the behavior of the eye (control through variation of the focal distance between the pupil and the optic nerve), and analyzes the mouthparts of insects licker type of device (the sample collection system was developed on the basis of incomplete rotational movements that parts like the tongue and jaw in the case of bees, or the lips and stilettos in the case of flies). The mechanical and electronic systems aiming at simplicity of a chemical analysis by staining, performed in solid and liquid particles, initially seeking results regarding the prediction of PH and biological analyzes (replica of an automated microscope was coupled to the probe during development to check results). A porous matrix in rotation performs the work of collecting the samples, (prepared sprinkler system through acid-base indicator). The methodology proposed analyzing problems in automation of chemical sensors, in order the design, dimensioning and construction facing the formation of an equipment to be used in robotic platforms, or manual use. In tests were observed an expected simplifying automation in chemical analyzes of greater complexity.*

**Keywords:** Development1; Chemical Analysis 2, PH 3; Probe 4; Automation 5