



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Industrial 4.0



CLODOALDO SABIÃO CAZETTA
JOILSON DOS SANTOS FERREIRA
PAMMELA AVILA CUNHA
VANESSA CHRISTINE VON KRUGER

SENSORIAMENTO DO PARÂMETRO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

CURITIBA

2023

CLODOALDO SABIÃO CAZETTA
JOILSON DOS SANTOS FERREIRA
PAMMELA AVILA CUNHA
VANESSA CHRISTINE VON KRUGER

SENSORIAMENTO DO PARÂMETRO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Mauricio Guy de Andrade

CURITIBA

2023

RESUMO

Esta monografia apresentou uma revisão bibliográfica sobre o sensoriamento e a compactação do solo, com o objetivo de explorar as técnicas e equipamentos utilizados e seus potenciais benefícios para a prática agrícola. O objetivo geral deste trabalho é criar um projeto de ideação para oferecer soluções de em qual local o agricultor deve intervir na reparação do solo em tempo real para prepará-lo para um novo plantio, por meio dos dados obtidos por sensores instalados em lugares específicos de seu terreno, obtendo assim dados mais precisos, o agricultor conseguirá visualizar os resultados através de aplicativo *mobile*. A compactação do solo é um problema que afeta a maioria das áreas agrícolas com um impacto negativo na produtividade de culturas. O sensoriamento do parâmetro de compactação do solo é uma técnica que pode ser usada para avaliar a qualidade do solo e identificar áreas com excesso de compactação. Essa técnica envolve o uso de sensores para medir a resistência do solo a penetração de uma haste ou cone, e as informações coletadas são usadas para criar mapas de compactação do solo. Esses mapas ajudam os agricultores a tomarem decisões informadas sobre o manejo do solo, como a implementação de práticas de conservação do solo, a seleção de culturas que se adaptam melhor a solos compactados e o ajuste da pressão dos pneus dos equipamentos agrícolas para limitar o efeito de compactação. O sensoriamento do parâmetro de compactação do solo é uma técnica promissora que pode ajudar a melhorar a eficiência e rentabilidade da produção agrícola. Por fim, são apresentadas algumas conclusões e recomendações para os agentes do agronegócio, como a importância de investir em sustentabilidade e de adaptar-se às novas demandas do mercado.

Palavras-chave: Agricultura. Tecnologia 4.0. Sensoriamento. Compactação do solo.

ABSTRACT

This monograph presented a literature review on soil sensing and compaction, with the aim of exploring the techniques and equipment used and their potential benefits for agricultural practice. The overall aim of this work is to create an ideation project to offer solutions on where the farmer should intervene in repairing the soil in real time to prepare it for a new planting, using the data obtained by sensors installed in specific places on his land, thus obtaining more accurate data. The farmer will be able to visualize the results through a mobile application. Soil compaction is a problem that affects most agricultural areas with a negative impact on crop productivity. Soil compaction parameter sensing is a technique that can be used to assess soil quality and identify areas with excessive compaction. This technique involves using sensors to measure the resistance of the soil to penetration by a rod or cone, and the information collected is used to create soil compaction maps. These maps help farmers make informed decisions about soil management, such as implementing soil conservation practices, selecting crops that are better adapted to compacted soils and adjusting the tire pressure of agricultural equipment to limit the compaction effect. Sensing the soil compaction parameter is a promising technique that can help improve the efficiency and profitability of agricultural production. Finally, some conclusions and recommendations for agribusiness players are presented, such as the importance of investing in sustainability and adapting to new market demands.

Palavras-chave: Agriculture. 4.0 Technology. Sensing soil. Soil compaction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - Relações existentes no processo de manejo do solo | 14 |
| FIGURA 2 - Equipamento para ensaio manual | 18 |
| FIGURA 3 - Equipamento para ensaio automático. | 18 |
| FIGURA 4 - Tecnologias de sensores para solo | 21 |
| FIGURA 5 – Sensor do tipo penetrômetro | 22 |
| FIGURA 6 - Arquitetura do sensor | 25 |
| FIGURA 7 - Configuração básica de extensômetro elétrico | 27 |
| FIGURA 8 - Ponte de <i>Wheatstone</i> | 28 |
| FIGURA 9 - Módulo microprocessador Arduino UNO | 30 |
| FIGURA 10 - Cabo adaptador bateria 9V para Arduino | 30 |
| FIGURA 11 - Módulo HX711 | 31 |
| FIGURA 12 - Esquema de ligação células de carga | 31 |
| FIGURA 13 - NRF24L01+ PA + LNA Wireless Arduino (WIFI) 2.4GHZ Longo Alcance | 32 |
| FIGURA 14 - Módulo GPS GY-NEO6MV2 com Antena | 33 |
| FIGURA 15 - Composição química plástico ABS | 34 |
| FIGURA 16 - Tensões e deformações em cilindros | 34 |
| FIGURA 17 - Arranjo de partículas do solo compactado..... | 35 |
| FIGURA 18 - Esboço de montagem sensor de compactação do solo..... | 36 |
| FIGURA 19 - Interface do usuário no computador. | 38 |
| FIGURA 20 - Interface do usuário <i>smarthphone</i> | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 - Fator de sensibilidade K_G para materiais utilizados em extensômetros..... | 28 |
|--|----|

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO..... | 9 |
| 1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA..... | 10 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA..... | 11 |
| 1.4 HIPÓTESE..... | 12 |
| 1.5 OBJETIVO..... | 13 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO..... | 13 |
| 2.2 COMPACTAÇÃO E SEUS EFEITOS NO SOLO..... | 15 |
| 2.2.1 Método de medição da compactação..... | 17 |
| 2.3 SENSORES E SENSORIAMENTO DO SOLO..... | 19 |
| 2.3.1 Sensor de compactação do solo..... | 20 |
| 2.3.2 Sensoriamento remoto aplicado a solos..... | 22 |
| 3 METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL | 23 |
| 3.1 PROJETO PRELIMINAR..... | 23 |
| 3.1.1 Definição do problema e Motivação..... | 24 |
| 3.1.2 Requisitos do projeto..... | 24 |
| 3.1.3 Desenvolvimento do projeto..... | 24 |
| 3.2 SENSOR DE COMPACTAÇÃO DO SOLO..... | 25 |
| 3.3 PROJETO DE DETALHAMENTO..... | 34 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 36 |
| 5 CONCLUSÕES | 40 |
| 5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS..... | 40 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 42 |

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento do parâmetro de compactação do solo é essencial para o monitoramento da qualidade do solo em diversas aplicações agrícolas e ambientais. A compactação do solo implica em mudanças físicas-químicas e biológicas que podem afetar significativamente a produtividade das culturas, a eficácia da irrigação, a permeabilidade do solo, dentre outros fatores (DENARDIN, 2023).

A utilização de técnicas de sensoriamento para avaliar o nível de compactação do solo apresenta diversas vantagens em relação aos métodos tradicionais, como a coleta manual de dados e a análise em laboratório. Isso porque os sensores permitem a obtenção de dados em tempo real e de forma não invasiva, além de oferecerem maior precisão e objetividade nas medições (KLEIN, 2023).

Nesse contexto, esta monografia tem o objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre as principais técnicas de sensoriamento utilizadas para avaliar o parâmetro de compactação do solo. Serão abordados aspectos teóricos relacionados às diferentes tecnologias e métodos de sensoriamento, bem como as suas limitações e potencialidades.

O objetivo geral deste trabalho é criar um projeto de ideação para oferecer soluções de qual local o agricultor deve intervir na reparação do solo em tempo real, para prepará-lo para um novo plantio, por meio de dados obtidos por sensores instalados em lugares específicos de seu terreno, o agricultor conseguirá visualizar os resultados através do aplicativo *mobile*. Além disso, serão abordadas algumas limitações e desafios enfrentados nessas áreas, como interpretação dos dados obtidos e a escolha de equipamentos adequados para cada tipo de solo. Com isso, espera-se contribuir para o aprimoramento das técnicas utilizadas no sensoriamento e na penetração do solo, colaborando para o desenvolvimento sustentável dessas áreas e para o aumento da eficácia e produtividade em aplicações práticas.

Por fim, serão apresentadas conclusões sobre as principais tendências e desafios na área de sensoriamento do parâmetro de compactação do solo,

bem como sugestões para futuras pesquisas e desenvolvimento tecnológicos nessa área.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A produção agrícola no Brasil tem sido base na economia do país ao longo dos anos. No ano de 2022, o setor foi responsável por 24,8% do PIB brasileiro e em 2021 26,6%. Os dados apresentados pelo relatório Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (2022) e demonstram a importância do setor na economia do país. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) mapeou que o no território brasileiro possui mais de 851 milhões de hectares dedicados a atividade, sendo 41% da área total do país com estabelecimentos agropecuários dedicados.

Além da importância econômica, segundo a Organização das Nações Unidas – ONU (2022), há uma previsão de que em 2050 será superior a 9,5 milhões de pessoas, sendo que em 2022 atingiu a marca de 8 bilhões de pessoas, aumentando assim a demanda por alimentos e necessidade de aumento da produtividade da produção do setor. De acordo com a FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, em 2022 cerca de 258 milhões pessoas em 58 países estão em situação de insegurança alimentar aguda, onde o indivíduo não tem acesso ao físico, econômico e social a alimentação necessária para as necessidades básicas.

Complementando o aumento da demanda, existe também a baixa produtividade agrícolas em certas regiões, como mostrado por meio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que ao calcular a média de safras de soja em 2.304 municípios, 896 municípios têm potencial para aumentar a capacidade da sua produção e para cana-de-açúcar dos 2.468 municípios analisados, 1.056 também tem um déficit entre potencial e produção efetiva.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Partindo dos dados acima do IBGE sobre a baixa produtividade em algumas regiões do país, uma série de parâmetros podem justificar essa problemática. A qualidade do solo, de acordo com Doran e Parking (1994), é sua capacidade de funcionamento dentro de alguns objetivos, entre eles sustentar a produtividade do plantio, manter a qualidade da água e do ar e não deteriorar na qualidade da saúde tanto de animais, plantas e humana. Para Rozemberg (2023), os tipos de parâmetros de qualidade do solo podem ser definidos em três: parâmetros químicos, biológicos ou físicos.

Os parâmetros químicos, de acordo com Lozada (2015 apud Brady, 2002), são relativos à fertilidade do solo. Para o autor os principais indicadores para a medicação da saúde química do solo são a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação de bases (V%), a acidez ativa e o teor fósforo, sendo que esses são responsáveis pela disponibilização de nutrientes para o plantio e o efeito de tamponamento (resistência do solo em ter o valor de seu pH alterado).

Já os parâmetros biológicos são relacionados aos microrganismos do solo e a qualidade de suas funções. Araújo e Monteiro (2007) apontam que os principais indicadores do tema são a “biomassa microbiana, a respiração, a nodulação por rizóbio, o quociente respiratório e a atividade enzimática do solo.”, pois tem como um dos resultados a rápida resposta do solo com as mudanças ambientais.

Os parâmetros físicos têm três eixos principais: densidade do solo, porosidade e estabilidade dos agregados (Rozemberg, 2023). Para o autor, os três itens têm como objetivo o acesso do oxigênio e da água ao plantio para que ele consiga se desenvolver com qualidade. Sendo assim, quanto mais compacto o solo está, mais prejudicada é a porosidade do solo e o acesso a esses itens nas diversas camadas do solo.

Delimitando aos parâmetros físicos, os problemas de compactação têm crescido em importância na agricultura, principalmente pelo crescimento do número de equipamentos que circulam acima do solo. O peso, de acordo com Sá e Santos Junior (2005), causa a expulsão do ar do solo e o rearranjo

de suas partículas, aumentando assim a densidade e a dificuldade de passagem de água e ar.

1.3 JUSTIFICATIVA

O setor agrícola depende de recursos naturais e possui riscos ligados à gestão, ao mercado e ao ambiente, o que torna o processo produtivo menos flexível diante das mudanças no mercado e da economia. Nesse contexto é de suma importância que os gestores agrícolas monitorem os riscos constantemente, para que possam gerenciar e utilizar estratégias e ferramentas tecnológicas inovadoras adequadas (EMBRAPA, 2018).

Nos últimos anos, houve um aumento no setor agrícola, que levou a um aumento na movimentação de máquinas e equipamentos agrícolas para o manejo do solo e para o plantio. Como consequência disso, tem sido observado um aumento indiscriminado no peso e na potência dos tratores utilizados, onde não são levados em consideração o dimensionamento de implementos e tratores por parte dos agricultores durante a aquisição. Essas situações contribuem para aumentarem os problemas de compactação do solo, que têm se tornado uma preocupação para os agricultores, onde é evidente que a prioridade do trabalho com máquinas e implementos está se concentrando exclusivamente no rendimento operacional, deixando para segundo plano a qualidade do trabalho com o solo, que é realizar o manejo adequado do solo (MANTOVANI, 1987).

O manejo do solo é uma etapa importante do processo, sendo assim deve ser executada com criteriosidade. Conforme EMPRAPA (2010), considera-se um manejo adequado do solo quando ele assegura que o solo tenha uma boa produtividade na plantação atual e nas futuras plantações, mantendo sua fertilidade. EMBRAPA (2010), orienta que se deve levar em consideração o potencial produtivo para definir o manejo, proteção e uso do solo. E que para se ter um manejo adequado, é imprescindível levar em consideração as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Segundo Batista *et al* (2023), um alerta sobre o uso do sistema de irrigação por pivô central se estabeleceu. Esse sistema é largamente utilizado na

agricultura, mas foi recentemente verificado um aumento e/ou agravamento nas taxas de erosão do solo devido ao excesso de aplicação de água em sistemas de pivô central de baixa pressão. Como consequência disso, a estrutura do solo é degradada e há um aumento de da vulnerabilidade do solo. Foi estabelecido por meio de estudos, que ocorre uma erosão generalizada nos solos que utilizam o sistema, e que essas degradações acabam sendo negligenciadas. É imprescindível que, ações para contornar essa situação sejam realizadas para manter a saúde desses solos para futuras plantações (BATISTA *et al*, 2023).

Nesse contexto, é preciso realizar um monitoramento da situação da compactação do solo e saber quais medidas precisam ser tomadas para contornar o problema, a fim de manter a qualidade do solo para a prosperidade dos futuros plantios.

A necessidade de que mais tecnologia esteja disponível para todos os tipos de produtores agrícolas é real e necessária. Atualmente existem sensores de mercado de elevado custo e de complexo manuseio para o produtor, não sendo economicamente acessível para todos. Esses sensores não possuem uma interface e recursos que possibilitem o monitoramento em tempo real de pontos da lavoura. Assim não possibilitando reações rápidas do produtor durante as épocas de produção. Além dos custos e recursos, os equipamentos disponíveis em mercado não trazem uma facilidade para o entendimento dos dados, necessitando muitas vezes de mão de obra especializada para operacionalização e conseqüentemente acarretando maiores despesas.

1.4 HIPÓTESE

O que oferecemos é um sensor de baixo custo capaz de medir a compactação do solo em tempo real, transmitindo as informações coletadas via rádio frequência para um terminal receptor. As informações são apresentadas ao produtor através de um aplicativo para *Android* com interface simples e com tratativas pré-definidas para condição encontrada. Além da tratativa “trivial”, o aplicativo também oferta uma consultoria online no plano premium. Onde

especialistas conseguem auxiliar na análise e plano de ação da revitalização do solo.

1.5 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é criar um projeto de ideação para oferecer soluções de qual local o agricultor deve intervir na reparação do solo em tempo real, para prepará-lo para um novo plantio, através de dados obtidos por sensores instalados em lugares específicos de seu terreno, o agricultor conseguirá visualizar os resultados via aplicativo *mobile*. Os objetivos específicos deste trabalho compreendem:

1. Oferecer uma ferramenta de baixo custo;
2. Otimizar custos de produção;
3. Aplicar tecnologia 4.0;
4. Eliminar desperdícios na agricultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

[LIER,2021?], determina que a composição física dos solos é complexa e diversificada, sendo o resultado da interação e combinação não homogênea de seus componentes. O solo é constituído por três frações físicas distintas:

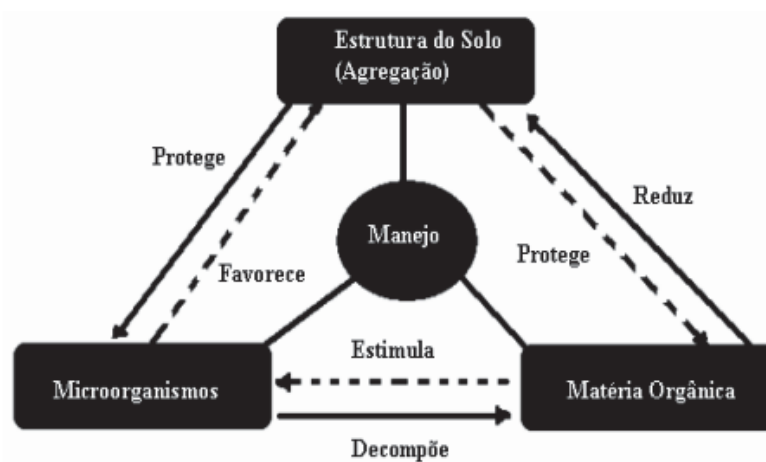
- Sólidos, que formam a matriz do solo;
- Líquidos, que compõem a solução do solo;
- Gases, que estão presentes no ar do solo.

A metade do volume do solo é ocupada pelos sólidos, a outra metade, conhecida como espaço poroso, é preenchida pela água e pelos gases. Quanto mais água presente, menos espaço para o ar, e vice-versa. Os teores de água e ar em um solo podem variar a curto prazo, e essa variação tem grande importância agrônômica [LIER,2021?].

A caracterização da composição física de um solo envolve a quantificação dos teores de seus componentes, tanto em massa como em volume, além do cálculo de alguns parâmetros derivados [LIER,2021?].

O manejo do solo é uma atividade que exerce influência nos atributos e indicadores da qualidade física do solo, por atuar diretamente na estrutura do solo (Hamza & Anderson, 2005). A Figura 1, ilustra as relações existentes no processo de manejo de um solo.

FIGURA 1 - Relações existentes no processo de manejo do solo



Fonte: Adaptado de AZEVEDO, 2007 (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

Para se ter uma melhor compreensão, segue abaixo a explicação de cada fase do solo:

- Fase sólida:

A matriz do solo é formada pelos sólidos compostos por minerais e matéria orgânica constituída por resíduos de plantas, animais e organismos vivos, enquanto o espaço entre eles é conhecido como poros. O tamanho e a forma dos poros são diretamente determinados pelo tamanho, forma e arranjo dos sólidos do solo [LIER,2021?].

- Fase Líquida:

A solução do solo, comumente conhecida como "água do solo", é composta por água contendo sais minerais e substâncias orgânicas dissolvidas [LIER,2021?].

- Fase Gasosa:

A fração gasosa do solo, conhecida como "ar do solo", possui uma composição que, em linhas gerais, é semelhante à atmosfera. No entanto, o ar do solo contém uma maior quantidade de CO₂ e uma menor quantidade de O₂, e apresenta uma umidade relativa próxima de 100%. Tanto a água quanto os gases preenchem os espaços porosos, ou seja, os vazios entre as partículas sólidas do solo [LIER,2021?].

2.2 COMPACTAÇÃO E SEUS EFEITOS NO SOLO

A constituição do volume total de um solo é composta pelo volume das partículas minerais e orgânicas do volume de poros entre as partículas. Sendo que o volume de um poro é ocupado por água e/ou ar. Considera-se que o solo está compactado avaliando a relação de resistência à penetração e dos índices de porosidade e densidade do solo (MANTOVANI,1987).

De acordo com Stefanoski *et al* (2013 apud Beutler *et al.*, 2005), quando ocorre a compactação do solo, ocorre um aumento de massa por unidade de volume, que acarreta o aumento da densidade, na resistência à penetração de raízes e na micro porosidade relativa, o que contribui para redução linear da porosidade total e da macro porosidade. Eles ainda explicam que a principal causa da degradação física dos solos agrícolas, é a compactação do solo devido o tráfego de máquinas, onde gera uma compressão do solo insaturado. Outro fator apresentado por Stefanoski *et al* (2013 apud Flowers & Lal, 1998), é o aumento da intensidade de tráfego em condições inadequadas de umidade do solo.

A susceptibilidade à compactação, segundo Stefanoski *et al* (2013 Braidá *et al.*, 2010), pode ser modificada pelo aumento de quantidade de matéria orgânica, mas os efeitos relacionados à retenção de água, densidade e textura do solo, determinarão a magnitude e o tipo de efeito ocasionado.

A compactação do solo é um sintoma que pode estar ligado ao manejo do solo e que pode exercer influência na resistência à penetração de água. O preparo convencional do solo, que consiste na agitação excessiva da terra, pode ocasionar compactação subsuperficial, o que pode causar um impedimento de crescimento das raízes em profundidade, deixando assim as plantações mais sensíveis a ter deficiência de oxigênio em períodos de chuva excessiva (EMBRAPA, 2005). Stefanoski *et al* (2013 apud Figueiredo *et al.*, 2009), exemplifica que as alterações ocorridas no solo na distribuição do diâmetro dos poros e na redução da macro porosidade, decorrente da atividade agropecuária, podem alterar o nível de retenção de água do solo.

O sistema de plantio direto, onde o trânsito de máquinas agrícolas é maior para realização de pulverização e colheita, pode apresentar compactação próxima à superfície. Em áreas de pastagem é comum observar nos primeiros 10 cm de profundidade, uma camada compactada em decorrência do pisoteio dos animais (EMBRAPA, 2005).

Segundo Stefanoski *et al* (2013 apud Hillel, 1980), o nível de compactação e a distribuição do diâmetro dos poros, afeta diretamente a disponibilidade de água para o plantio. Desse modo, podemos afirmar, de acordo com Stefanoski *et al* (2013 Ribon & Tavares Filho, 2008), que a resistência do solo à penetração é um importante indicador físico, já que se relaciona com outros indicadores do grau de compactação.

Stefanoski *et al* (2013), afirma que atividades realizadas continuamente e de maneira mal planejada pelo homem, acarretam o aumento da resistência a penetração do solo.

Segundo Mantovani (1987), os sintomas visuais de solo compactado avaliando as plantas, são:

- Plantas mais baixas que o normal;
- Folhas com coloração não-característica;
- Sistema radicular superficial;

- Raízes malformadas.

Segundo Mantovani (1987), os sintomas visuais de um solo compactado são olhando para o solo, são:

- Crosta no solo;
- Zona compactada de superfície;
- Água empoçada;
- Erosão excessiva pela água;
- Aumento de requerimento de potência para o preparo do solo.

Observando esses sintomas, é possível verificar de forma prática e estimar a compactação do solo avaliado. Para se obter medidas quantitativas, a compactação pode ser avaliada a partir de outros atributos do solo, tais como: porosidade, densidade, infiltração de água, resistência ao penetrômetro (que é o instrumento que mede a compactação) e outros parâmetros relacionados (CAMARGO, 2006).

2.2.1 Método de medição da compactação.

Atualmente não existem uma forma padronizada para a medição de compactação de solo, podendo essa ser feita de forma diferente dependendo de quem realizará o estudo e do local.

O Ensaio de *Proctor* atualmente é o mais utilizado para essa medição. Feito em laboratório, o ensaio consiste na análise de amostras do solo em um molde, onde se é determinado o teor de água e o peso da amostra. Após a primeira medição são feitas aplicação de água nessa amostra em diversas quantidades para se obter então o teor de compactação em vários cenários para a montagem da curva final (SANTOS, 2008).

Podem ser usados dois tipos de equipamento para a medição do molde, podendo ser o equipamento manual conforme a FIGURA 2, ou automático ilustrado na FIGURA 3:

FIGURA 2 - Equipamento para ensaio manual



Fonte: disponível em http://www.torresgeotecnia.com.br/?attachment_id=4350434

FIGURA 3 - Equipamento para ensaio automático.



Fonte: disponível em: http://www.torresgeotecnia.com.br/?attachment_id=4350434

O autor utiliza a fórmula abaixo, para o cálculo da energia de compactação do solo (E):

$$E = (N \times n \times W \times h) \div V$$

Sendo que:

N = Número de pancadas por camada;

n = Número de camadas do solo no molde;

W = Peso do pilão;

H = Altura da queda de pião;

V = Volume do molde.

Os resultados normalmente variam entre 0,6MNm/m³ em casos de compactações leves a 2,7 MNm/m³ em casos mais severos. Atualmente há formas mais modernas e rápidas para se obter esse resultado, que são os sensores de compactação do solo.

2.3 SENSORES E SENSORIAMENTO DO SOLO

A produção agrícola é um processo que exige um conjunto de elementos para que seja conduzida com eficiência, tais como composição química, água, nutrientes e compactação. Contudo a fertilidade e assim a produtividade do solo costuma variar muito mesmo dentro da mesma propriedade agrícola. Assim, o agricultor precisa conhecer mais as especificidades do solo de sua propriedade, assim podendo atuar de forma mais pontual e precisa em cada região da propriedade.

Com o avanço tecnológico na agricultura de precisão (AP) ou mais conhecida atualmente como Agricultura 4.0, essas medições podem ser realizadas de forma muito rápida, precisa e barata através do uso de sensores, fornecendo dados que podem ser analisados de forma remota, permitindo realizar análises detalhadas da cobertura vegetal, tipo de solo, topografia e áreas

que sofrem com erosão ou patógenos de solo. Permitindo identificar e auxiliar a melhorar a produtividade, dentre alguns pontos de melhoria é possível citar como exemplos:

- Estimativa de área plantada;
- Vigor vegetativo das culturas;
- Previsão de produção agrícola;
- Regiões com maior potencial de produção;
- Determinação de faixas de solo com baixa produtividade;
- Separação de áreas reservadas para preservação e silvicultura,
- Apontamento de erros em processos de adubação, irrigação e preparo do solo.

Atualmente, os sensores mais comuns utilizados na agricultura de precisão são do tipo óptico, que pode ser utilizado através de drones, satélites ou aeronaves não tripuladas (VANTS), sensores eletroquímicos, como os utilizados para medição do pH, salinidade e níveis de nutrientes, sensores mecânicos como os penetrômetros, que identificam a resistência mecânica a penetração do solo, fator que tem grande influência no crescimento radicular das plantas e sensores capacitivos, que utilizam constantes dielétricas para medir a umidade do solo.

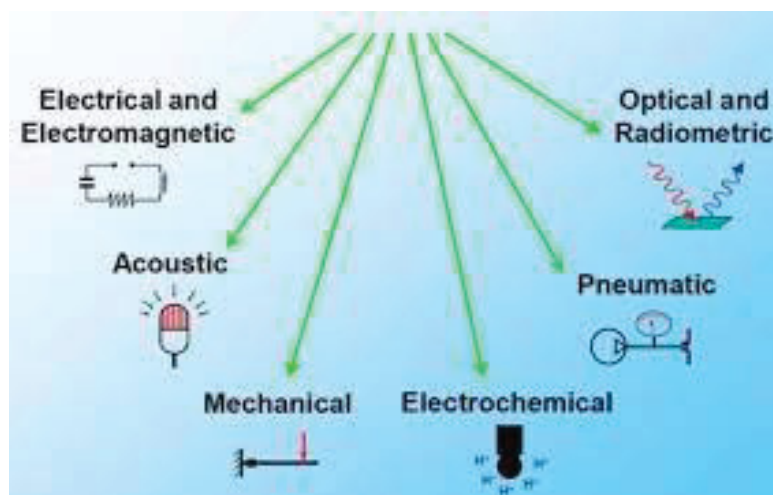
Porém, os sensores são apenas responsáveis por coletar os dados, pare que esses dados sejam utilizados é preciso tratá-los e interpretá-los, de forma a se gerar informações que possam ser utilizadas pelo agricultor, para assim realizar as devidas correções em sua lavoura, de forma precisa, rápida e econômica.

2.3.1 Sensor de compactação do solo

Sensores de compactação do solo são equipamentos capazes de mensurar a resistência mecânica do solo. Atualmente existem diversas formas construtivas de sensores capazes de realizar esse tipo de medição, podendo

realizá-las de forma elétrica ou eletromagnética, acústica, mecânica, eletroquímica, pneumática, óptica ou radiometria que está ilustrada na FIGURA 4. Dependendo do método utilizado, os sensores atuam de diferentes formas, conforme Viscarra Rossel *et al* (2011), eles podem ser móveis ou estáticos, com medições invasivas ou não invasivas, através de energia passiva ou ativa e inferência direta ou indireta.

FIGURA 4 - Tecnologias de sensores para solo



Fonte: MOLIN, (2019).

Sensores do tipo mecânico, mais comumente conhecidos como penetrômetro, apresentado na FIGURA 5, é o tipo mais comumente utilizado na agricultura brasileira para medição da compactação do solo, conforme GLOSSÁRIO DE EQUIPAMENTOS DE SONDAGEM da ABGE (1980), esse tipo de sensor obtém os dados a partir da resistência mecânica de penetração no solo, expressa pelo índice de cone (IC), definido como a resistência do solo a penetração de uma ponta cônica, expressa como a força por unidade de área da base do cone. Sua forma construtiva básica consiste em um tubo ou haste maciça, é introduzida no solo através de pressão descendente exercida, podendo ser aplicada de forma estática ou dinâmica.

FIGURA 5 – Sensor do tipo penetrômetro

Fonte: disponível em <https://www.instrutherm.com.br/penetrometro-digital-para-solo-com-profundidade-de-ate-450mm-com-faixa-de-1-a-50kg-mod-dds-100>

Penetrômetros tem como parte principal uma ponteira cônica fixada na ponta de uma haste, essa é padronizada internacionalmente pela *ASABE* (*AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURE AND BIOLOGY ENGINEERING*). Conforme a norma ASAE S313.1, a área de projeção da ponteira deve ser de 323mm² (20.27mm de diâmetro) para solos menos compactados e 130mm² (12.83mm de diâmetro) para solos mais compactados, ambas com ângulo de 30 graus.

2.3.2 Sensoriamento remoto aplicado a solos

Dentre as ferramentas possíveis para mapeamento do solo o sensoriamento remoto (SR) se mostra bastante eficiente para mapeamento digital, principalmente no que tange grandes áreas a serem monitoradas. Segundo McBratney, Mendonça Santos e Minasny (2003), a técnica tem sido cada vez mais importante com os avanços tecnológicos. Sua maior relevância está relacionada a capacidade de adquirir dados mais precisos e detalhados ao que tange a qualidade e composição do solo.

3 METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O presente trabalho procura fornecer um embasamento teórico necessário para se produzir um sistema eficiente, amigável e de baixo custo. No entanto, primeiro é necessário considerar que ele faz parte de um contexto de desenvolvimento científico e deve, portanto, ter colaboração científica para ser repassada para a sociedade (LIMA; LEZANA, 2005).

Usaremos uma metodologia de pesquisas prescritiva. Segundo Lacerda *et al.* (2013), pesquisas prescritivas consistem em resolver o problema a partir da construção de um artefato como solução. A ideia é criar um serviço para análise de dados de compactação de solo por meio de sensores que enviarão informações em tempo real para um aplicativo *mobile*, com as análises será observado possíveis soluções de reparação de solo, melhor momento para o plantio, e qual impacto seus equipamentos estão colaborando para a compactação daquele solo.

O objetivo geral deste trabalho é criar um projeto de ideação para oferecer soluções de qual lugar o agricultor deve intervir na reparação do solo em tempo real, para prepará-lo para um novo plantio, através de dados obtidos por sensores instalados em lugares específicos de seu terreno, o agricultor conseguirá visualizar os resultados através de aplicativo *mobile*.

3.1 PROJETO PRELIMINAR

A ideia principal deste projeto é oferecer aos agricultores mais conhecimentos e mais capacitação sobre compactação do solo através de ferramentas de tecnologia 4.0, com uma base de dados que transmitirá em tempo real por aplicativo móvel as informações necessárias da compactação do solo, e se precisa algum tipo de intervenção naquele momento para reparação.

3.1.1 Definição do problema e Motivação

Primeiro vamos definir o problema. Durante uma aula de pós-graduação, onde o módulo tinha por nome Agronegócio 4.0, foi identificado por meio de trocas de informações entre professor e autores do projeto, o quanto a compactação do solo interfere nos resultados do agricultor. A falta de informação e de uso de tecnologia 4.0 deixa o agricultor exposto a situações negativas por clima, ou por executar o plantio com o solo muito compactado. Assim, foi possível observar o problema e a oportunidade a partir da aplicabilidade desse projeto. Nessa etapa, entendeu-se que há campo para otimizar o acesso e a capacitação do agricultor da aplicabilidade de tecnologias 4.0 que irão auxiliar o agricultor na tomada de decisão.

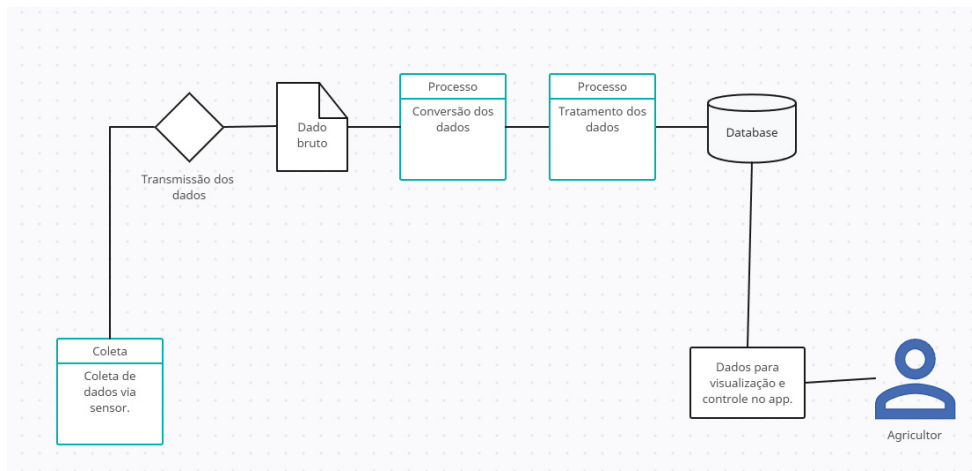
3.1.2 Requisitos do projeto

- Equipe de projeto capacitada;
- Uso de ferramentas 4.0;
- Aplicativo móvel de fácil entendimento;
- Base de dados confiável;
- Capacitação de funcionalidade do aplicativo para agricultores.

3.1.3 Desenvolvimento do projeto

Após a identificação do problema, motivação e objetivos do trabalho, será feito o detalhamento do desenvolvimento do sensor. O sensor consiste no aparelho que fará a leitura e coleta dos dados do solo e, após isso, é feita toda a transmissão dos dados, conversões e tratamentos até que o dado seja de fácil e rápida visualização para o agricultor em um aparelho móvel. Os dados permanecerão em uma base de dados na nuvem para consulta. Na FIGURA 6, está demonstrada a arquitetura que o sensor deverá ter.

FIGURA 6 - Arquitetura do sensor



Fonte: Autores (2023).

3.2 SENSOR DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

O que se idealizou é um sensor de compactação do solo de baixo custo, desenvolvido com componentes de fácil aquisição e de custo reduzido, e processos de fabricação também de baixo custo e complexidade para as partes estruturais do sensor, como o sistema de impressão 3D com filamento polimérico, permitindo assim que o mesmo pudesse ser instalado de forma permanente no local que se deseja medir sem que haja grandes investimentos do produtor rural. Nesse contexto, foi esboçado um sensor utilizando extensômetros ou também conhecidos como "Strain Gauges", para medir o deslocamento por consequência a pressão que o solo exerce sobre uma determinada ponto, ao qual o extensômetros devem ser fixados. Inicialmente prevê-se realizar o monitoramento da compactação do solo para fins experimentais em duas profundidades distintas, 0,2m e 0,4m. Porém, é possível realizar medições em mais pontos ao longo do invólucro mediante a instalação de mais extensômetros e placa de conversão analógico/digital. Os extensômetros devem ser ligados ao sistema de microprocessamento Arduino IDE, para isso se faz necessário a instalação de módulo de conversão analógico/digital, pois as medições realizadas são de natureza analógica e precisam ser convertidas para informações digitais, para que o microprocessador possa processar as informações e transmitir as mesmas. Para

a transmissão dos dados coletados, é necessário a instalação de módulo de transmissão *wireless* e módulo GPS para o georreferenciamento dos sensores no terreno, tudo isso alimentado por sistema de baterias de 9V, específico para sistema Arduino IDE. Para o invólucro prevê-se a confecção com utilização de impressão 3D em plástico ABS, mediante o desenvolvimento de projeto gráfico prévio, todos os componentes utilizados são melhor descritos abaixo, a fim de deixar mais claro a idealização do sensor.

Extensômetros elétricos são dispositivos elétricos criados para medir a deformação a partir da variação da resistência elétrica. A resistência elétrica de um condutor de comprimento L , área de seção transversal A e resistividade ρ pode ser calculada pela expressão:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Derivando-se a equação e dividindo o resultado por R , resulta:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A}$$

Se considerarmos que na elongação de um fio, de seção transversal A muito pequena em comparação com seu comprimento L , e que a resistividade do material seja insensível à deformação, então a equação (2) reduz-se a:

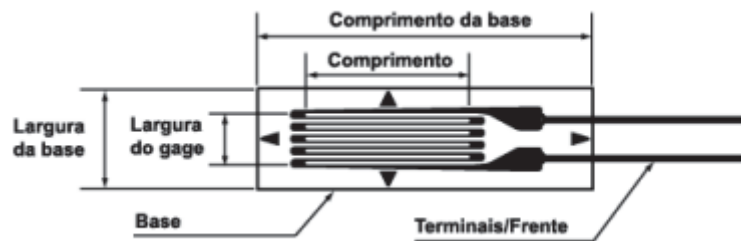
$$\frac{dR}{R} \approx \frac{dL}{L}$$

Porém, $\frac{dL}{L} = \varepsilon$ é a deformação, de modo que a equação pode ser reescrita como também conhecida como lei de Hooke;

$$\frac{\Delta R}{R} = \varepsilon$$

Para reduzir a razão entre a área da seção transversal e o comprimento do condutor os extensômetros elétricos são construídos de acordo com a FIGURA 7.

FIGURA 7 - Configuração básica de extensômetro elétrico



Fonte: disponível em

https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840793/LOM3086/Extensometros_eletricos.pdf

A razão entre $\Delta R/R$ e a deformação ε é chamada de fator de sensibilidade do *strain gage* ou *Gage Factor*, e é simbolizada por KG:

$$K_G = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$$

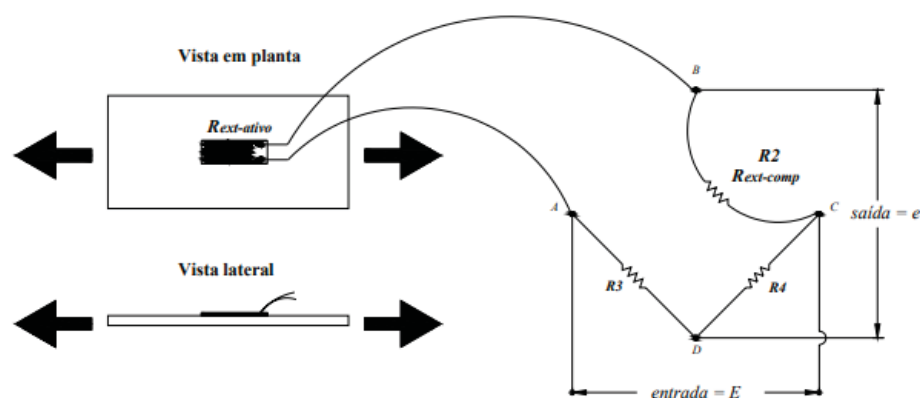
Os materiais que apresentam baixa variação da resistividade com a deformação e que apresentem um pequeno coeficiente de temperatura, além de estabilidade com a temperatura, são candidatos a materiais para confecção de extensômetros elétricos. A TABELA 1 lista algumas ligas metálicas empregadas na fabricação de *strain gages*, juntamente com os valores de fator de sensibilidade KG. Os *strain gages* mais comuns utilizam principalmente as ligas *Constantan*, *Isoelastic* e *Karma*.

TABELA 1 - Fator de sensibilidade K_G para materiais utilizados em extensômetros

| Material | Composição (%) | K_G |
|----------------------|------------------------------|-------|
| Constantan (Advance) | 45 Ni, 55 Cu | 2,1 |
| Nichrome V | 80 Ni, 20 Cr | 2,2 |
| Isoelastic | 36 Ni, 8 Cr, 0,5 Mo, 55,5 Fe | 3,6 |
| Karma | 74 Ni, 20 Cr, 3 Al, 3 Fe | 2,0 |
| Armour D | 70 Fe, 20 Cr, 10 Al | 2,0 |
| Liga 479 | 92 Pt, 8 W | 4,1 |

Fonte: disponível em https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840793/LOM3086/Extensometros_eletricos.pdf

O extensômetros devem ser montados em uma configuração denominada Ponte de *Wheatstone* conforme FIGURA 8, onde uma ou mais resistências são substituídas por extensômetros, quando alimentada por uma fonte de alimentação entrada E , produz um sinal de tensão de saída e , que é função dos valores das resistências. Quando a ponte está balanceada, as relações de resistência devem obedecer a relação $R_1R_3 = R_2R_4$, assim o sinal de tensão de saída deve ser $e = 0V$.

FIGURA 8 - Ponte de *Wheatstone*

Fonte: Andolfato, Camacho e Brito (2004)

Quando desbalanceada, ou seja, o valor da resistência do extensômetro sofrer alteração devido ao efeito de uma carga, valores diferentes de 0 passam

a ser medidos na saída da ponte $e \approx 0$, em função dos valores de resistência equação.

$$e = \frac{R1R3 + R2R4}{(R1 + R2)(R3 + R4)} E$$

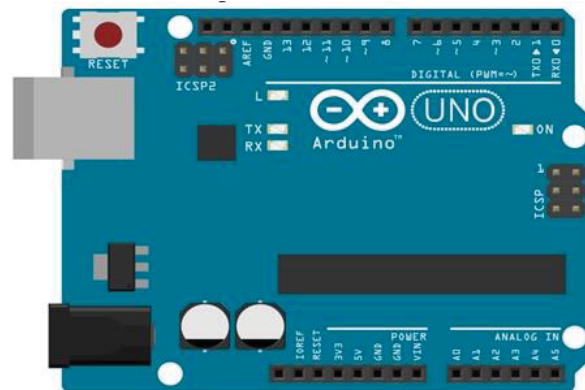
Se a variação ΔR_i for muito menor que a variação da resistência R_i , a seguinte relação é válida:

$$\frac{e}{E} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4} \right)$$

Substituindo a equação 5 na expressão 7 acima temos:

$$\frac{e}{E} = \frac{K_G}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

O motivo de se utilizar a plataforma eletrônica Arduino, se deve, por ser uma plataforma *open source*, que permite integrar software e hardware de maneira fácil, permitindo que pessoas com pouco conhecimento na área possam desenvolver as suas habilidades e conhecimentos de eletrônica e programação de maneira simples. É um sistema multiplataforma, ou seja, pode ser utilizado em sistemas operacionais Windows, Linux e Macintosh OS, possui código aberto e hardware extensível. Possui ambiente programável simples e objetivo baseado na linguagem de programação *Wiring*. As placas do sistema Arduino são capazes de ler variáveis físicas como a variação de tensão elétrica provocada pela variação da resistência do extensômetro que pretendemos utilizar. Outro fator importante é o baixo custo, na atualidade existem no mercado módulos Arduino por menos de R\$50,00, fato concomitante com o propósito do trabalho. Um módulo Arduino está representado na FIGURA 9.

FIGURA 9 - Módulo microprocessador Arduino UNO

Fonte: disponível em [http:// https://embarcados.com.br/pinos-digitais-do-arduino/](http://https://embarcados.com.br/pinos-digitais-do-arduino/)

Para alimentação o sistema Arduino, é necessário um cabo adaptador para bateria comum de 9V, conforme a FIGURA 10, o qual é acoplado a placa do microprocessador.

FIGURA 10 - Cabo adaptador bateria 9V para Arduino

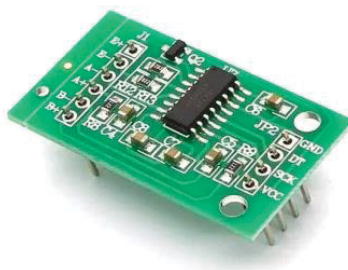
Fonte: disponível em <https://www.institutodigital.com.br/produto/cabo-adaptador-bateria-9v-com-plug/>

A natureza do sinal mecânico convertido em sinal elétrico é analógica e continua ao longo do tempo, para permitir que o sinal seja tratado por um microprocessador é necessário realizar a conversão do sinal de analógico para digital.

Essa transformação ocorre através de um conversor A/D (Analógico/Digital). Ele transforma o sinal analógico e contínuo no tempo em um sinal amostrado e discreto no tempo, com precisão determinada pela resolução em bits do conversor utilizado. Quanto mais bits, menor é o erro entre o valor analógico e o valor convertido para digital, para isso é necessário utilizar um módulo de conversão específico para sistema baseados na plataforma Arduino. O módulo AD HX711, representado na FIGURA 11, é um conversor

analogico/digital de 24 bits, associado a um estágio de amplificação, específico para trabalhar com sensor de carga.

FIGURA 11 - Módulo HX711



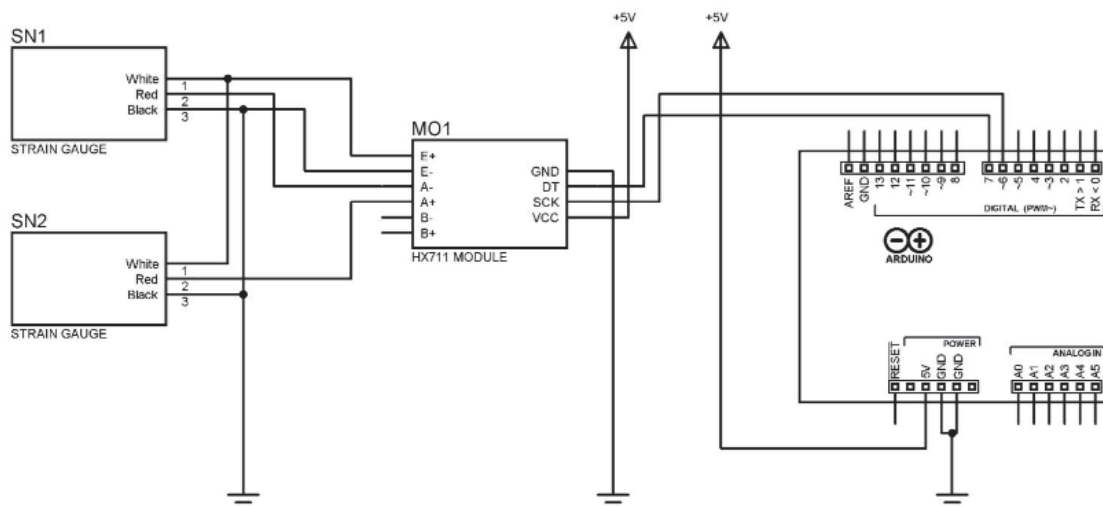
Fonte: disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1460394867-modulo-hx711-sensor-hx-711-carga-peso-balanca-arduino-_JM

O diferencial de tensão na célula de carga é muito pequeno, assim como são pequenas as variações na medida. Por isso, o sinal precisa ser amplificado.

A saída do módulo usa comunicação serial para enviar a leitura de tensão para o Arduino, que será interpretada como força / peso.

A montagem do extensômetro no sistema Arduino deve ficar conforme o desenho esquemático da FIGURA 12:

FIGURA 12 - Esquema de ligação células de carga



Fonte: disponível em <https://www.usinainfo.com.br/blog/celula-de-carga-arduino-com-hx711-na-variacao-de-um-strain-gauge/>

O sinal digital é transmitido via sinal *wireless* por um módulo transmissor conforme a FIGURA 13, que é o NRF24L01+ PA + LNA Wireless Arduino (WIFI) 2.4GHZ de Longo Alcance e recebido por um disposto *mobile* ou computador pessoal, o qual deve possuir programa específico para conversão do sinal em medidas de pressão. Informando assim o usuário os resultados obtidos ao longo do tempo, a tendência e ações de mitigação necessárias para recuperação do solo.

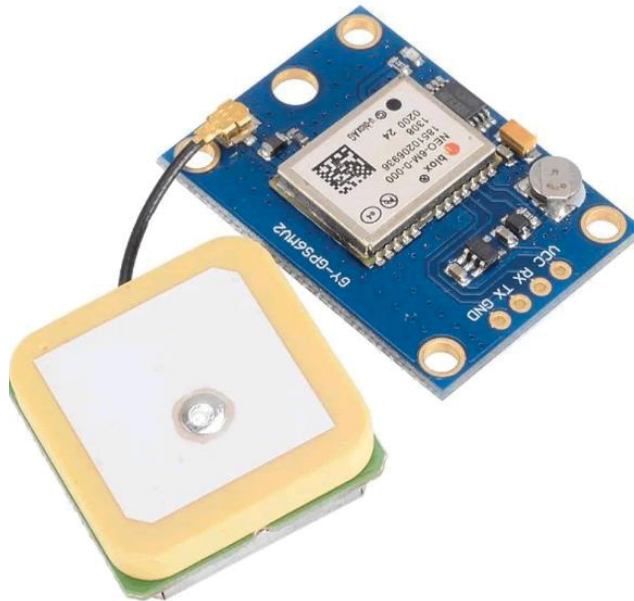
FIGURA 13 - NRF24L01+ PA + LNA Wireless Arduino (WIFI) 2.4GHZ Longo Alcance



Fonte: disponível em <https://www.masterwalkershop.com.br/modulo-transceptor-wireless-nrf24l01-24ghz-com-antena>

Para se identificar com precisão os pontos que os sensores de medição estão instalados, é necessário incluir um módulo de geolocalização GPS ao sistema Arduino, o módulo GPS GY-NEO6MV2 com Antena que fornecera os dados para uma plataforma microcontrolada.

Este Módulo GPS GY-NEO6MV2, que está ilustrado na FIGURA 14, com Antena conta com uma antena externa para melhorar a recepção de sinal e a comunicação com a plataforma microcontrolada é feita via serial (RX / TX).

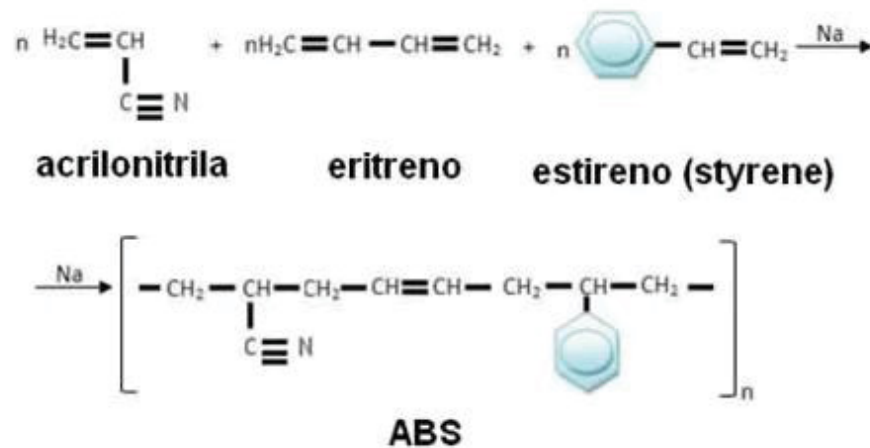
FIGURA 14 - Módulo GPS GY-NEO6MV2 com Antena

Fonte: disponível em <https://www.hepsiburada.com/robotistan-gy-neo6mv2-gps-modulu-ucus-kontrol-sistem-gps-i-pm-HBC00000D03VM>

Os extensômetros devem ser envoltos por um invólucro hermeticamente fechado, de material polimérico “Plástico” denominado Acrilonitrila-butadieno-estireno ou mais comumente conhecido como (ABS), é uma resina termoplástica derivada do petróleo, é formado pela combinação de três monômeros, Acrilonitrila, Butadieno e Estireno, cada monômero possui características diferentes, assim variando é possível a produção de materiais com características diferentes. É um copolímero que tem grande importância na indústria, não somente por seu baixo custo, mas também devido as suas propriedades como resistência a intempéries, resistência mecânica e a impactos, maleabilidade a baixas temperaturas e facilidade para impressão, entre outros.

Por esses motivos, o plástico ABS é amplamente utilizado na indústria para fábrica de peças, tais como peças de automóveis como painéis e molduras, componentes estruturais, dispositivos portáteis, brinquedos e invólucros. A FIGURA 15 apresenta a composição química do ABS.

FIGURA 15 - Composição química plástico ABS



Fonte: disponível em <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/constituicao-aplicacoes-polimero-abs.htm>

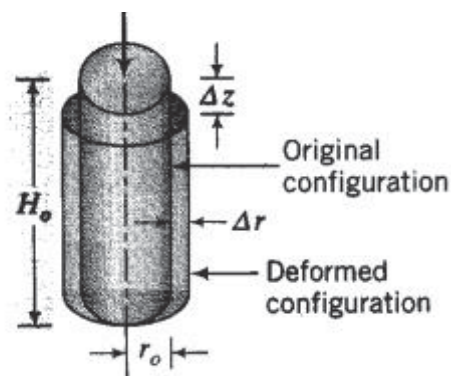
3.3 PROJETO DE DETALHAMENTO

Considerando-se o conceito de deformação que quando aplicada uma carga em elemento cilíndrico, ilustrado na FIGURA 16, observa-se uma diminuição na altura e um aumento no raio, dessa forma, pode observar forças longitudinais e transversais agindo sobre o cilindro. As deformações verticais e radiais são respectivamente:

FIGURA 16 - Tensões e deformações em cilindros

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta H}{H_0}$$

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r_0}$$



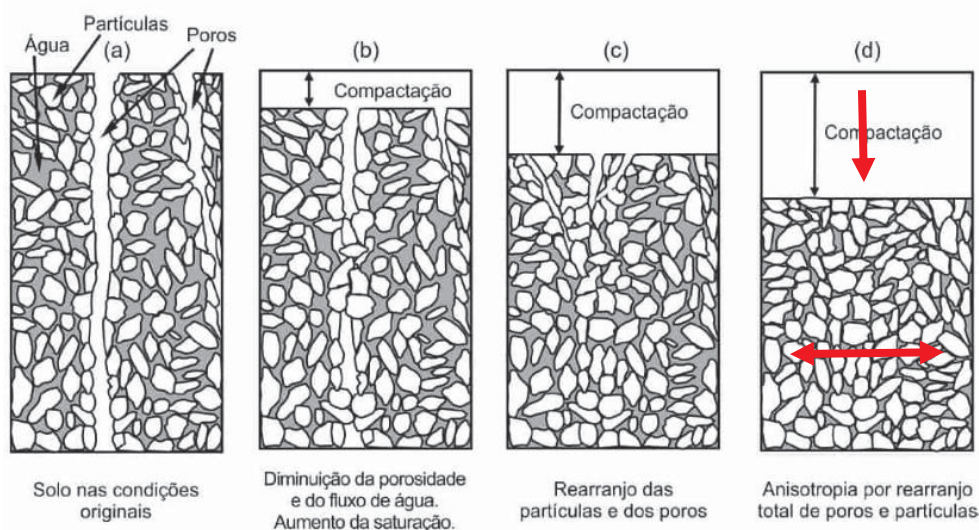
Fonte: Budhu, M (1999). Soil Mechanics and Foundation, John Wiley & Sons

A relação entre deformação lateral e a axial é denominada coeficiente de *Poisson*, definida pela equação abaixo. Como as deformações ocorrem em sentidos contrários, o sinal é negativo.

$$V = -\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_z}$$

Da mesma forma é o comportamento do solo, ao se aplicar uma força vertical ele exerce uma força transversal a aplicação da força de compactação, conforme demonstrado na FIGURA 17. Assim é possível medir a compactação do solo obtendo a força transversal que o solo exerce em determinado sensor, como extensômetros definidos no projeto de idealização, os mesmos fixados internamente em uma haste como demonstrado na FIGURA 18, a qual deve ser inserida no solo, para que ela receba as forças de compressão, e converta essas forças de deformação em sinais elétricos através dos extensômetros.

FIGURA 17 - Arranjo de partículas do solo compactado



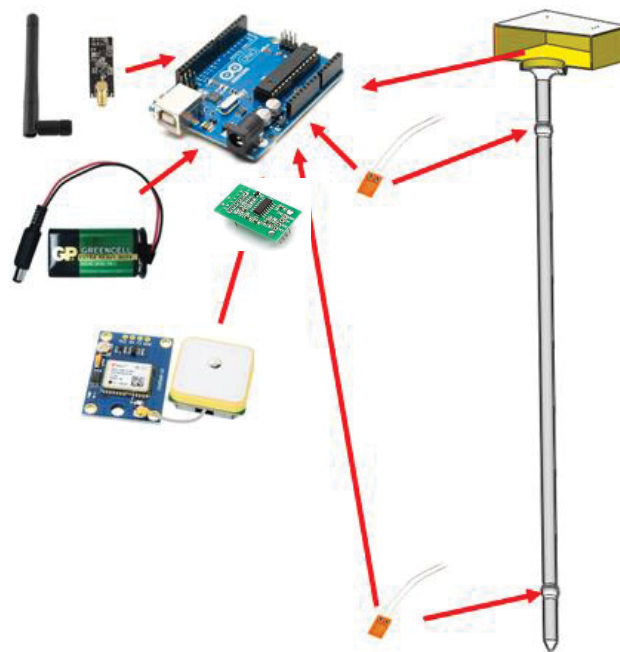
Fonte: Rainer Horn, 2003

Configurando todo o sensor, deve ser acoplados os outros elementos conforme listados abaixo, para que ele exerça corretamente sua função, de adquirir os dados de compactação, converta-os em sinais elétricos, e esses sinais sejam transmitidos de forma de dados digitais para um receptor, o qual irá

processar as informações e apresentá-las de forma gráfica para o usuário, a fim de torná-las facilmente entendíveis.

- Microprocessador Arduino Uno
- Cabo adaptador de bateria 9V para Arduino
- Bateria 9V
- Modulo HX711
- Antena Wireless Arduino (WIFI) 2.4GHZ Longo Alcance
- Módulo GPS GY-NEO6MV2 com Antena
- Involucro em plástico ABS

FIGURA 18 - Esboço de montagem sensor de compactação do solo.



Fonte: Autores (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho foi desenvolvido em um servidor local onde foi feita a construção e armazenamento dele. A interface do usuário foi construída através

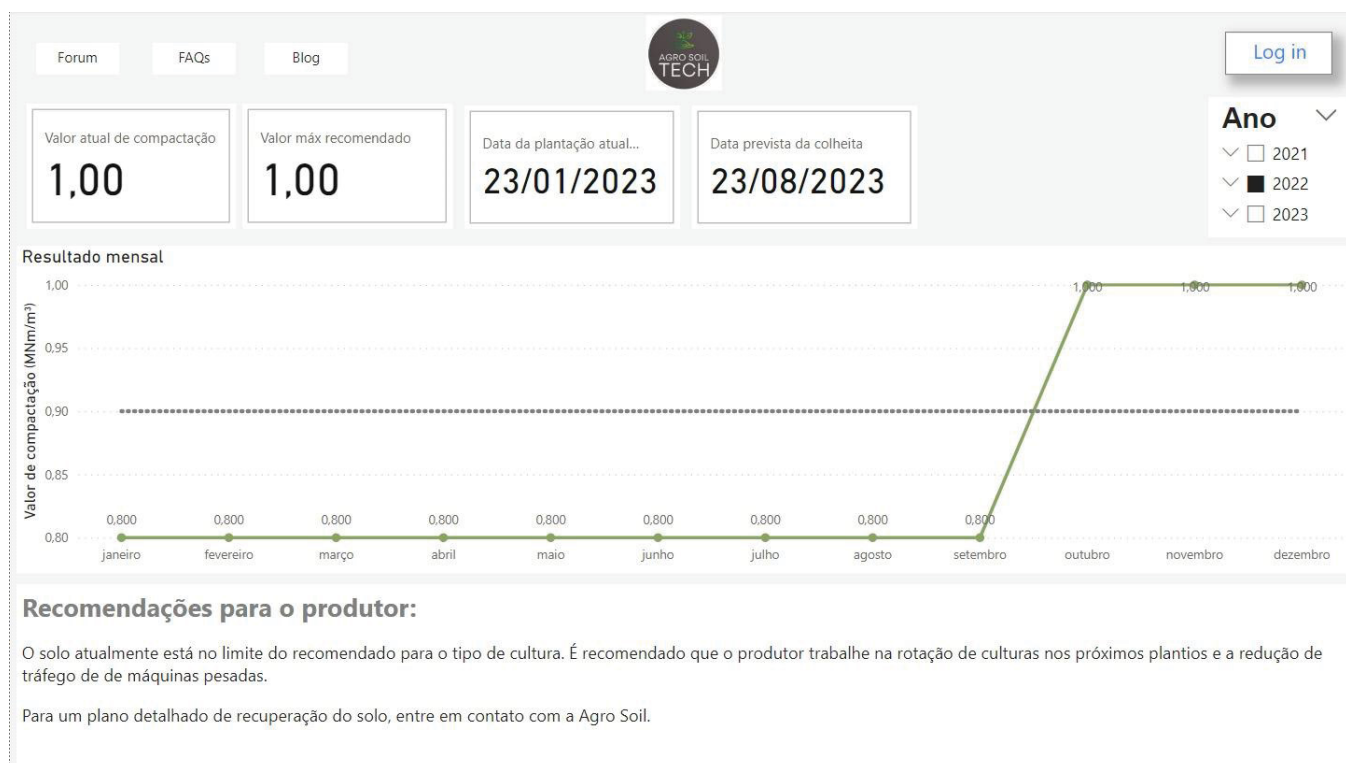
de dashboards utilizando o software *Power BI* da Microsoft tanto para acesso no computador quanto no smartphone.

O foco foi trazer uma solução com dados diretos sobre o status da compactação do solo e um diagnóstico prévio, deixando também aberto para a opção de o produtor adquirir um diagnóstico personalizado, sendo esse um serviço adicional que o mesmo pode contratar da empresa. Trazer um software com informações diretas e com baixa complexidade de valores visa atingir também um público menos habituado com tecnologia, já que, conforme Paulo Souza *et al* (2019), em agriculturas familiares apresentam baixos índices de utilização de tecnologias.

Conforme a FIGURA 17 e FIGURA 18, o aplicativo contará com as informações em tempo real da compactação do solo e o recomendado, informações das datas da cultura atual e um resultado mês a mês da evolução da compactação do solo. Também é possível que o agricultor faça a pesquisa da situação do solo nos anos anteriores. O produtor também terá acesso, através do cabeçalho do aplicativo, a perguntas frequentes dos usuários (FQA), fórum para discussão entre usuários e um blog para sobre o tema. Na parte inferior do aplicativo é mostrada o diagnóstico prévio do solo e indicações de melhorias para a sua recuperação, deixando aberto para o produtor contratar um consultor da empresa como um serviço adicional, assim gerando novos negócios.

Para explorar os benefícios da solução é necessário que pelo menos uma safra seja acompanhada utilizando o sensor, pois assim será possível medir o quanto esse solo está degradando ao longo do tempo e seja possível intervir caso necessário, e, aplicando as melhorias propostas, mostrar também a melhoria da qualidade do solo.

FIGURA 19 - Interface do usuário no computador.



Fonte: Autores (2023).

FIGURA 20 - Interface do usuário *smarthphone*.

Fonte: Autores (2023).

5 CONCLUSÕES

A necessidade do aumento da produção agrícola e da produtividade do solo tem aumentado nos últimos anos e tendem aumentar ainda mais com o crescimento e aumento da expectativa de vida da população. Nesse trabalho, o foco foi idealizar uma solução, através do uso de tecnologias da indústria 4.0, para melhor aproveitamento do solo e estender a sua vida útil.

O projeto visa, através da utilização do sensoriamento do solo, monitorar e dar um diagnóstico do solo para a variável de compactação, que é um importante parâmetro quando se fala em saúde do solo. Além da coleta de dados, o sensor promete entregar uma interface acessível e visual para o agricultor, podendo manter o histórico de safras passadas e dando acesso a diagnósticos personalizados para a tomada de decisão.

Sendo assim, com o diagnóstico em mãos, o agricultor poderá trabalhar com o solo e, fazendo os ajustes necessários, terá como resultado o aumento da colheita no médio e longo prazo e a melhoria da qualidade do solo.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Esse projeto teve como objetivo idealizar um equipamento utilizando tecnologias da indústria 4.0 para auxiliar os agricultores na tomada de decisão durante o plantio para maior aproveitamento do solo. Além disso, a coleta de dados também pode ser utilizada para futuras pesquisas e estudos da agricultura.

Como o presente trabalho é uma idealização, a sugestão para trabalhos futuros seria a montagem física do protótipo e testes em loco, para confirmar os resultados almejados no projeto e possíveis melhorias, com a opinião dos seus utilizadores.

Outra possível sugestão de estudo seria na parte estrutural da haste e proteções do sensor, já que como o objetivo do produto é ser mantido no solo, é necessário analisar se o material proposto tem boa duração ao longo das

variações de clima. Também é interessante estudar a necessidade da manutenção do sensor e propor uma frequência para realizá-la.

Por fim, também é possível a continuidade desse protótipo para outras variáveis de medição da saúde do solo, como, por exemplo, a porosidade ou PH do solo, aumentando assim as possibilidades do diagnóstico da saúde do solo.

Com essas melhorias, espera-se um aumento na confiabilidade e durabilidade do protótipo, impactando assim a produtividade do agricultor e melhor utilização do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDOLFATO, Rodrigo P. *et al.* **Extensimetria básica**. UNESP, Ilha Solteira, 2004. 45p.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGY ENGINEERING. **ASABE STANDARDS 2006 93: ASAE S313.1 FEB 04** Soil cone penetrometer. 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGY ENGINEERING. **ASABE STANDARDS 1999: ASAE EP542, FEB 99** Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer. 1999.

BATISTA, Pedro V.G. *et al.* First evidence of widespread, severe soil erosion underneath centre-pivot irrigation systems. **Science of the total environment**, v.888, 2023.

BUDHU, M. **Soil mechanics and foundation**. 3rd.ed. University of Arizona John Wiley & Sons, 1999. 781p.

CAMARGO de, O. A.; Alleoni, L.R.F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm>. Acesso em: 27/5/2023

CARTER, L. M. **Portable recording penetrometer mesaures soil strenght profiles, agricultural engeneering**. V. 48, n. 6, p. 348-349, 1967.

CHANCELLOR, W. J. **Compaction of soil by agricultural equipment**. Davis: University of California, 1977. 53p. (Bulletin, 1981).

Constituição e aplicações do polímero ABS. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/constituicao-aplicacoes-polimero-abs>>.htm Acesso em: 27 de maio de 2023.

DENARDIN, José. Artigo - **Compactação e adensamento de solo: caracterização, origem, riscos, danos e soluções: descompactação do solo em plantio direto**. [S. l.], 16 jan. 2018. Disponível em: . Acesso em: 30 maio 2023.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and Assessing Soil Quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F.and Stewart, B.A., Eds., Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, **Soil science society of america journal**, Madison, 3-21, 1994.

Extensômetros Elétricos. **Notas de aula Universidade de São Paulo**.

Disponível em:
<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840793/LOM3086/Extensometros_eletricos.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2023.

HAMZA, M. A.; Anderson, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & tillage research**. v.82, p.121-145, 2005.

HORN, Rainer. Stress–strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. **Geoderma**, v.116, p.7788, 2003.

KLEIN, Alex. **Como ocorre a compactação do solo e como identificar**. [S. l.], 15 dez. 2020. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/>>. Acesso em: 30 maio 2023.

MACHADO, Gabriel. **Agronegócio brasileiro: importância e complexidade do setor**. [S. l.], 14 jun. 2021. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/>>. Acesso em: 26 maio 2023

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

LACERDA, D. P. *et al.* Design Science Research: Método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LIER, Quirijn de Jong van. **Cálculo de alguns parâmetros físicos do solo**. Disponível em:
<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce200/Calculo_de_alguns_parametros_fisicos_do_solo.pdf> Acesso em 27 de maio de 2023.

LIMA, E. P. DE; LEZANA, Á. G. R. Desenvolvendo um framework para estudar a ação organizacional: das competências AO. **Gestão & produção**, v. 12, n. 2, p. 177–190, 2005.

LOZADA Clara M. C. **Índice de qualidade do solo para a avaliação do Impacto de diferentes usos e manejos e sua aplicação em uma área rural de planaltina (DF)**. 2015. 80. Dissertação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2015.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p. 52-55, 1987.

MCBRATNEY, A.B., MENDONÇA SANTOS, M.L. and MINASNY, B. On Digital Soil Mapping. **Geoderma**, v.117, 3-52, 2003.

MOLIN, José P. **Sensoriamento e sensores**. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2019. Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5309431/mod_resource/content/1/SensoriamentoSensoresSolo.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2023.

ROZEMBERG, Isaque V. **Influência do manejo nos atributos físicos do solo em diferentes agroecossistemas**. 2023. Dissertação - Instituto Federal do Espírito Santo, Ibatiba, 2023.

SÁ, Marcos Aurélio Carolino de, JUNIOR, João de Deus Gomes dos Santos Junior. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 26 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 136).

SANTOS, J. A. **Compactação Elementos Teóricos**. 2008. 18p. Dissertação de Mestrado – Instituto Superior Técnico. Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura.

STEFANOSKI, Diane C *et al.* Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.

SOUZA, Paulo Marcelo de *et al.* Diferenças regionais de tecnologia na agricultura familiar no Brasil. **Revista de economia e sociologia rural**, v. 57, n. 4, p. 594-617, 2019. Disponível em: <http://scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032019000400594>. Acesso em: 23 de maio de 2023.

Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p.: il. color.; 18,5 cm x 25,5 cm.

VISCARRA ROSSEL, R. A. *et al.* **Proximal Soil Sensing: An Effective Approach for Soil Measurements in Space and Time**. 2011.

Penetrometro digital. Disponível em: <<https://www.instrutherm.com.br/penetrometro-digital-para-solo-com-profundidade-de-ate-450mm-com-faixa-de-1-a-50kg-mod-dds-100>>. Acesso em 27 de junho de 2023.