



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

Moisés Alves da Silva Neto

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**RECIFE
2022**

Moisés Alves da Silva Neto

Relatório de estágio supervisionado obrigatório

Desenvolvimento de sistema de aquisição de dados de condutividade elétrica aparente do solo com base em microcontrolador Arduino

Relatório apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco como pré-requisito para obtenção de nota da disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório, sob orientação do Professor Emanuel Di Tarso Dos Santos Sousa.

**RECIFE
2022**

AGRADECIMENTOS

Ao tratar de agradecimento, na minha concepção deveríamos ser gratos a tudo aquilo que nos fez crescer e amadurecer, principalmente ao longo de uma graduação conturbada, com direito a problemas pessoais e o mais agravante de tudo, uma pandemia. Cada pequeno momento que ocorreu desde 2017 me trouxe até o presente momento.

Gostaria de agradecer a Deus por todas as pessoas incríveis e oportunidades que proporcionou a mim durante esses longos, porém maravilhosos cinco anos.

O conceito de família, ao menos no dicionário tradicional, é o de um grupo de pessoas que habitam no mesmo teto, ao meu ver um tanto quanto antiquado e sem significado. Graças a Lilo e Stitch, minha concepção sobre o que é família foi completamente modificada, visto que família significa nunca abandonar ou esquecer. Sou grato a minha família, que sempre me apoiou em tudo, meu pai, Moisés Alves da Silva Júnior, minha mãe, Fabiana Cristina Almeida Silva e minha irmã, Maria Júlia Almeida Silva, valendo ressaltar que existiram pessoas que pra mim foram família ao longo desses anos.

Gostaria de agradecer a todos os professores que foram tutores nesse caminho, em especial a Cristiane Guiselini Pandorfi, que foi minha tutora no PET AgroEnergia durante 19 meses, ao professor Abelardo Antônio de Assunção Montenegro que foi meu orientador durante o ano de 2021 e ao professor Emanuel Di Tarso Dos Santos Sousa, que aceitou ser meu orientador do ESO, descrito no presente relatório.

Por fim e não menos importante, gostaria de agradecer aos amigos e colegas que fiz no curso, onde ao iniciar a graduação em 2017.1 não podia imaginar quantas pessoas incríveis eu conheceria, onde claro, não citarei os nomes, mas acredito que todos saibam a importância que cada um deles tiveram na minha graduação, amigos que pretendo levar para a vida toda, mas que se fosse citar cada um deles, uma página não seria o suficiente. Agradeço de forma especial a Jully Emilly Galdino de Jesus, que durante o período de 2019 - 2021 foi minha dupla, minha amiga e me apoiou em todos os momentos, mesmo os mais turbulentos e sem ela nada disso seria possível.

LISTA DE ABREVIATURAS

CEa - Condutividade Elétrica Aparente do solo;

CI – Circuito Integrado;

DTR - Departamento de Tecnologia Rural;

UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	7
3. REFERENCIAL TEÓRICO	8
4. MATERIAIS E MÉTODOS	9
4.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.	9
4.2 Determinação da CEa.	9
4.3 Versões de teste predefinidas para o protótipo	11
4.4 Análises dos dados	13
4.5 Localização	13
5. RESULTADOS	13
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

1. INTRODUÇÃO

Os fatores responsáveis pela produção na agricultura, são os mais variados, eles abrangem desde características como o tipo do solo, tipo da cultura, clima da região, velocidade do vento entre outros fatores. Dessa forma, o registro e análise desses fatores torna-se essencial.

Quando se fala em agricultura de precisão (AP) no Brasil, existe um conceito em que esta é tida como algo para se aplicar apenas em grandes propriedades. No entanto, a AP é uma alternativa direta para o aumento de produção, sendo sua principal dificuldade de implantação a falta de conhecimento dos gerenciadores de áreas de plantio. Vale ressaltar que o uso da AP é uma alternativa viável que aumenta produtividade e pode reduzir os custos, além de mitigar os danos ao meio ambiente ao utilizar-se os recursos de forma correta e mais eficiente (MACHADO et al., 2018).

O uso de sensores para identificação da variabilidade espacial e da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo vem crescendo devido a seu baixo custo de operação e facilidade de aplicação. Os sensores de CEa podem funcionar pelo princípio de resistividade elétrica, indução eletromagnética e reflectometria no domínio do tempo. Vale ressaltar que os sensores que operam pelo princípio da resistividade podem apresentar ruídos, devido a características do solo ou de mal contato, isso faz com que seja necessário que sejam desenvolvidos meios de filtrar esses dados ruidosos, visando extrair apenas os dados úteis (SOUSA, 2019).

Os sensores mensuradores da CEa no solo são extremamente eficientes em identificar o estado de salinidade do solo, visto que este é um dos fatores mais antigos e que ainda causam problemas, onde a acumulação de sais o afetam negativamente, quanto a produção das culturas. A exceção a essa regra são culturas halófitas, que são cerca de 1% da flora mundial, portanto fica explícito a necessidade de identificação de solos salinos, visando tratar e recuperar esses solos. (RUEDA, 2019).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um sensor de baixo custo capaz de medir e indicar a CEa do solo.

2.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver um sensor de CEa do solo com base em emissão de sinal de corrente contínua;
- Determinar o custo do desenvolvimento do sensor proposto;
- Analisar o efeito de diferentes resistores de referência sob a acurácia do sensor desenvolvido.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Importância da determinação da CEa.

Nos sistemas de agricultura de precisão, sabe-se que quanto mais informações a respeito da região, melhor serão utilizados os recursos. Visando caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo, pode-se utilizar o mapeamento da CEa como um indicador das áreas de interesse para realizar a amostragem de solo (MEDEIROS et al., 2018).

Com a acumulação de sais nas camadas superiores do solo, faz-se necessário o monitoramento da CEa devido a esta estar ligada diretamente com a fertirrigação e a adubação de cultivos intensos. Os procedimentos que ocorrem em cultivos intensos submete o solo a condições de risco de salinização, principalmente se a irrigação for feita com a utilização de águas de reúso, águas salobras ou salinas. A mensuração da CEa torna-se extremamente necessária, devendo ser uma fonte de dados precisa (SILVA et al., 2020).

Várias pesquisas indicam a grande variabilidade de utilização dos dados obtidos de CEa. a CEa trata-se de uma fonte de informação com características de estabilidade espacial e temporal, além de apresentar elevada correlação com teor de argila no solo, quantidade de fósforo e potássio, podendo ser correlacionado com o Ph e a CTC do solo (SOUSA, 2019).

Um estudo no mediterrâneo indicou que apesar da determinação de CEa relacionar de forma mais significativa o teor de argila com a CEa devido aos valores globais de CEa calculados em períodos chuvoso, isso não torna o sistema dispensável em períodos de seca, visto que o teor de argila é estável no tempo em escala de tempo sazonal, mesmo que períodos chuvoso sejam os mais indicados para realizar os estudos e seus levantamentos ao longo do tempo podem ser uma ferramenta chave para o desenvolvimento da agricultura de precisão do solo (PARRILLA et al., 2016).

Avanços na agricultura com utilização de microcontroladores.

A aplicação de microcontroladores para a agricultura abrange os mais variados usos, sendo possível elaborar projetos de baixo custo e com alta eficiência.

Os insumos necessários são menores devido a aplicação controlada e correta e por consequência diminuindo os custos necessários a longo prazo, além de possuir fácil acesso para a agricultura familiar em casos como na plataforma Arduino devido ao seu baixo custo (CUNHA e ROCHA, 2015).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Princípio de funcionamento.

O sensor de condutividade elétrica aparente do solo foi criado utilizando como base o modelo tradicional do princípio da resistividade, com a configuração da matriz de Wenner, utilizando 4 eletrodos em linha, como proposto por Barbosa e Zandonadi (2017). Para o experimento descrito, foi utilizado a distância estimada entre hastes de trinta centímetros e os testes de bancada consistiram em testes de uma série de medição, com noventa repetições e cada repetição era uma média de cem medições realizadas pelo Arduino com objetivo de aproximar o resultado de um valor mais confiável.

Para o funcionamento do sensor, o Arduino foi programado para fornecer tensão aproximada de 5V, confirmada por medição com multímetro, onde foi utilizada uma porta analógica para alimentação, com o objetivo de não aquecer os resistores, alternando os tempos de medição e repouso do sistema. Além disso, o Arduino mensurou as tensões medidas entre os eletrodos com o auxílio das portas analógicas e calculou a diferença de potencial entre os eletrodos, o que possibilitou a determinação da CEa.

4.2 Determinação da CEa.

4.2.1 Determinação das tensões lidas nas portas analógicas

As portas utilizadas para leitura analógica foram as portas A0, A1, A2 e A3. A tensão emitida pelo Arduino foi de aproximadamente 5V e os valores lidos no Arduino variaram em 1024 valores, incluindo o 0. As leituras foram feitas em estrutura de laço, onde eram mensurados 100 leituras a cada medição da CEa e o

resultado era a média das leituras, as equações 1, 2, 3 e 4 foram utilizadas para converter as leituras brutas das portas analógicas, em leitura de tensão.

Equações:

$$Va0m = (Va0m/100)*5,0/1023 \quad (1)$$

$$Va1m = (Va1m/100)*5,0/1023 \quad (2)$$

$$Va2m = (Va2m/100)*5,0/1023 \quad (3)$$

$$Va3m = (Va3m/100)*5,0/1023 \quad (4)$$

Após as determinações das tensões lidas nas portas analógicas, foi possível identificar a queda de tensão no resistor de referência do circuito (Equação 5) e a diferença de potencial causada pelo solo (Equação 6).

$$V = Va0 - Va1 \quad (5)$$

$$Vsolo = Va2 - Va3 \quad (6)$$

4.2.2 Determinação da Corrente

A determinação de uma corrente só é possível graças a primeira lei de Georg Ohm, onde ela “determina que a diferença de potencial entre os dois pontos de um resistor, é proporcional à corrente elétrica que é estabelecida nele”. Assim, podemos afirmar que para determinar a corrente (Equação 7) é necessário identificar as tensões lidas nas portas A0 e A1, pois a tensão de entrada no solo será calculada levando em conta a diferença de potencial entre a entrada do circuito e a saída do resistor de referência (R) (Figura 1).

Equações:

$$I = V/R \quad (7)$$

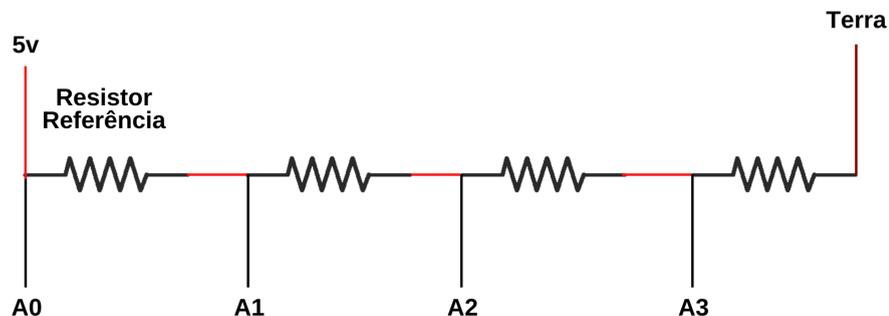


Figura 1: Esquema do circuito.

4.2.4 Determinação da CEa

Por fim, para determinarmos a CEa, Utilizamos o modelo de equação proposto por Sousa (2019) (Equação 8) que é o inverso da apresentada por Igboama e Ugwu (2011).

$$CEa = (I/(2*\pi*a*Vsolo))*1000 \quad (8)$$

Onde:

CEa = Condutividade Elétrica Aparente do solo em mS/m;

I = Corrente elétrica aplicada ao solo em A;

Vsolo = Diferença de potencial entre os eletrodos das portas A2 e A3 (Fig1)

a = Distância entre os eletrodos.

4.3 Versões de teste predefinidas para o protótipo

4.3.1 Versão 1.0

A primeira versão do protótipo teve como objetivo testar o funcionamento básico do sistema, onde foram identificados problemas com a ligação contínua de energia, pois a exposição a energia contínua poderia danificar os resistores de referência. Devido a isto, foi implantado um botão, para que fosse fornecido energia ao circuito apenas quando o botão fosse pressionado, além de ser inserido o tempo de 1 segundo entre cada medição (Figura 2).

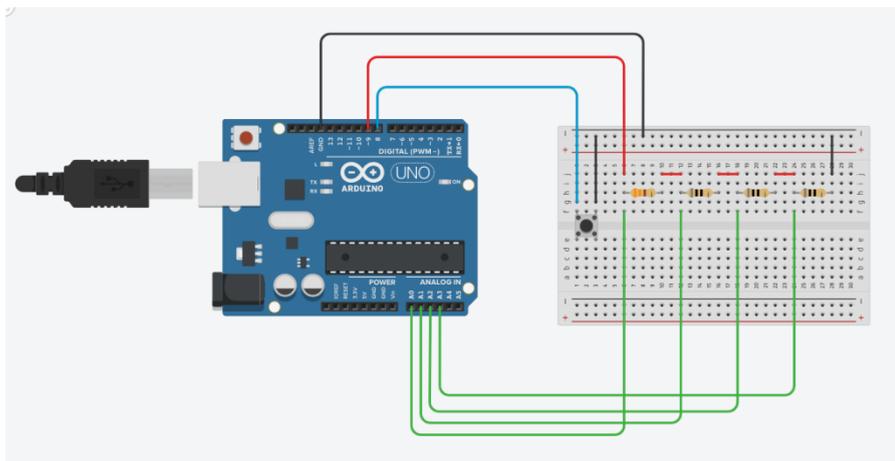


Figura 2: Versão 1.0

4.3.2 Versão 2.0

Após as melhorias feitas no protótipo, foi implementado um módulo leitor de cartão micro SD para armazenamento de dados (Figura 3).

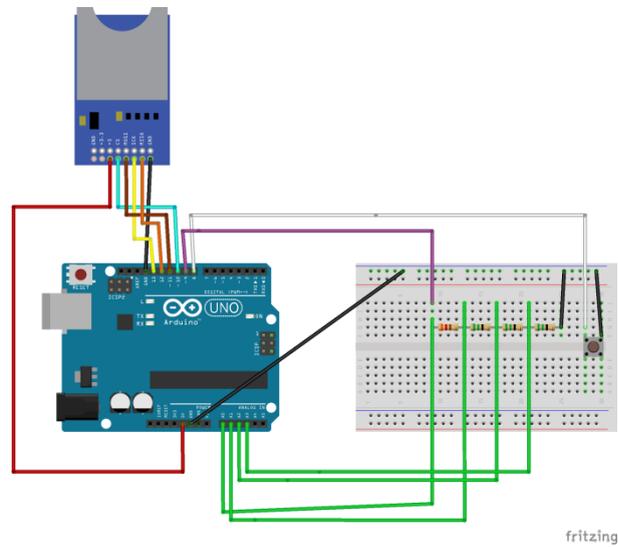


Figura 3: Versão 2.0

4.3.3 Versão 3.0

Por fim, foi apresentada a versão 3.0 que foi a versão definitiva a ser apresentada no relatório com a inserção do módulo LCD 16x2 (Figura 4).

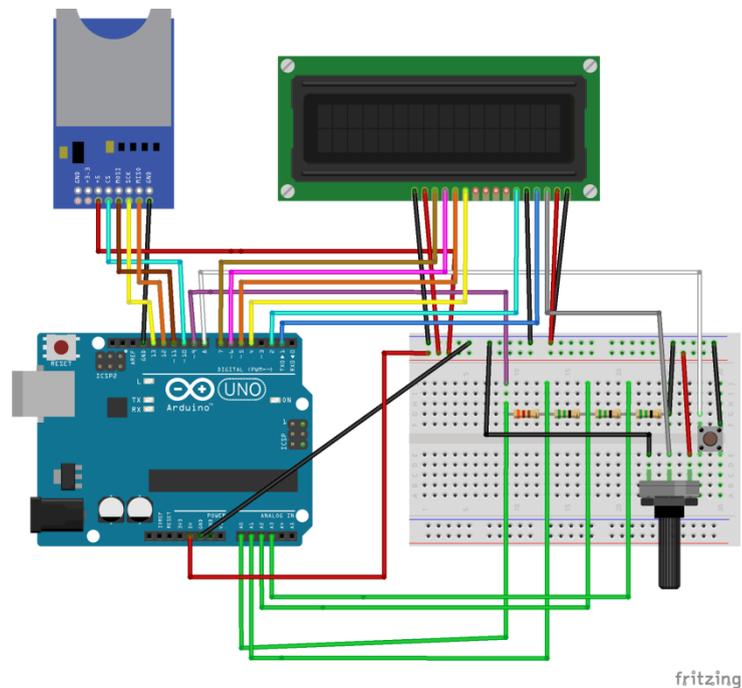


Figura 4: Versão 3.0

4.4 Análises dos dados

Para determinar o funcionamento pleno do protótipo, foi necessário realizar as análises estatísticas, que consistiram na realização do teste de média por meio do teste-*t* ao nível de 5% de significância, no software RStudio em linguagem R. Além disso, foi determinado o erro médio das medições, para comparações com outros sensores.

4.5 Localização

O estudo foi feito na UFRPE, próximo ao DTR, sito Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE (Figura 5), onde foram realizados os testes de bancada e posteriormente onde serão realizados os testes de protótipos futuros para publicação de trabalhos em artigos científicos.

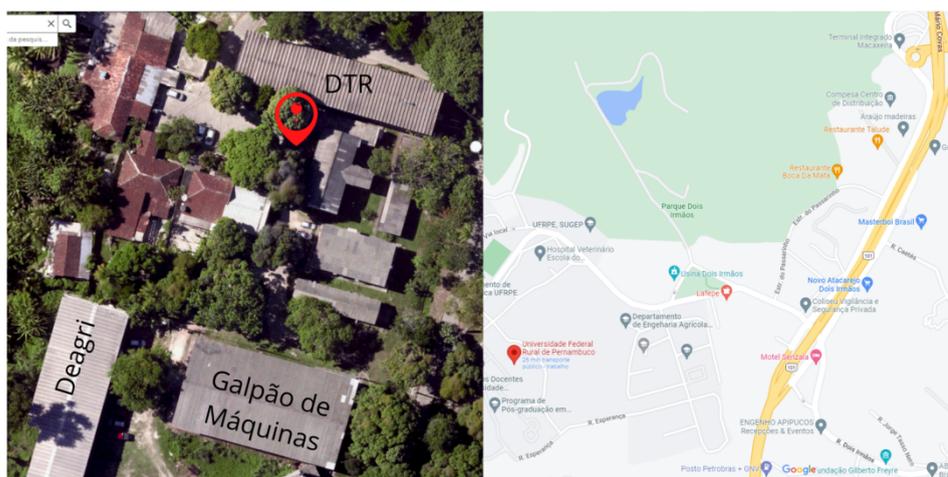


Figura 5: Local do experimento

5. RESULTADOS

A tabela 1 apresenta a lista de custo total dos componentes utilizados no desenvolvimento do equipamento proposto. Os custos apresentados foram observados ao adquirir os componentes no comércio local. No entanto, é possível que esses componentes sejam ainda mais baratos em websites. Vale ressaltar que

os *jumpers* não foram citados, pois a utilização varia de acordo com o arranjo feito pelo usuário.

Tabela 1: Custo para elaboração do protótipo inicial.

Componente	Custos dos componentes		
	Quantidade	Preço unitário	Total
Arduino Uno	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Protoboard	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Módulo micro-SD	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Lcd 16x2	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Total			R\$ 115,00

O código e protótipo foram finalizados (Figura 6) e os valores de CEa foram próximos dos valores teóricos de CEa calculados (Equação 8).

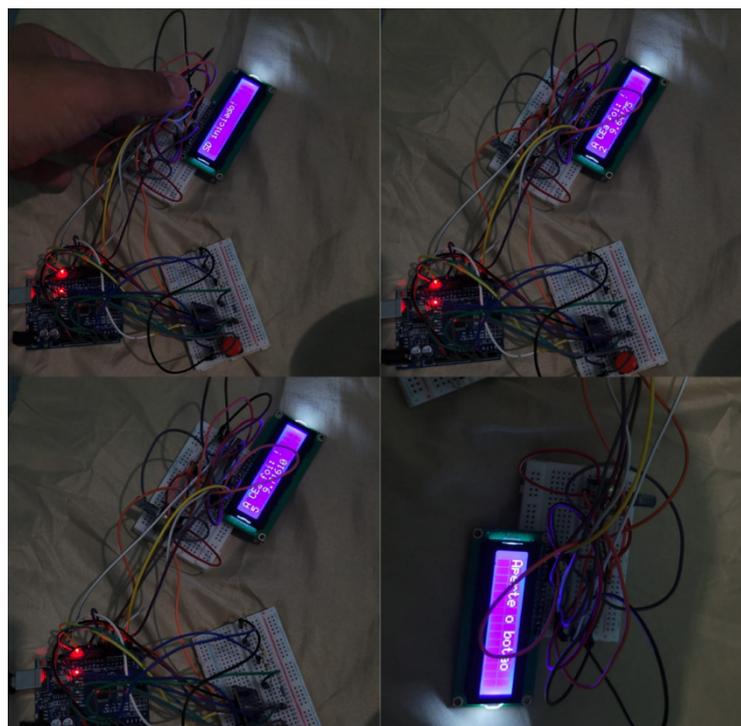


Figura 6: Versão de teste 3.0 do protótipo

As 90 medições de CEa para cada resistor de referência que foram salvas no cartão de memória micro SD resultaram nos valores médios de CEa e equivalente Resistência. Foram produzidas duas tabelas, em que uma delas possui as médias

das resistência calculada (Tabela 2) e uma tabela as médias das medições de CEa (Tabela 3).

Tabela 2: Resistência calculada utilizando o protótipo Versão 3.0

Resistor	Resistência Calculada				Resistência real
	Referência				
	175 Ohms	218 Ohms	266 Ohms	327 Ohms	
Comercial					
1 Ohm	0,999	1,003	0,989	1,011	1,1
16 Ohms	14,819	14,850	14,788	14,786	15,2
24 Ohms	21,673	21,646	21,696	21,762	22,3
56 Ohms	54,577	54,592	54,520	54,610	55,2
82 Ohms	80,022	79,868	80,296	80,569	80,5
150 Ohms	146,309	146,183	146,180	145,970	147
330 Ohms	320,455	320,366	320,910	321,525	318
820 Ohms	807,882	807,006	807,675	808,962	801

Tabela 3: CEa calculada utilizando o protótipo Versão 3.0

Resistor	Condutividade Elétrica Aparente				CEa Teórica
	Referência				
	175 Ohms	218 Ohms	266 Ohms	327 Ohms	
Comercial					
1,1 Ohms	532,5683	529,4837	537,1220	525,0118	482,2877
15,2 Ohms	35,8022	35,7231	35,8739	35,8801	34,9024
22,3 Ohms	24,4789	24,5090	24,4521	24,3782	23,7900
55,2 Ohms	9,7206	9,7177	9,7306	9,7149	9,6108
80,5 Ohms	6,6301	6,6424	6,6076	6,5844	6,5903
147 Ohms	3,6263	3,6296	3,6298	3,6341	3,6090
318 Ohms	1,6574	1,6584	1,6503	1,6500	1,6683
801 Ohms	0,6593	0,6600	0,6600	0,6589	0,6623

Ao analisarmos os dados apresentados, foi possível notar que os valores de resistência calculada possuem medições menores que os valores reais dos resistores utilizados no teste para valores de resistência menor que 80 Ohms e valores maiores para resistência acima de 318 ohms, ainda que o valor calculado tenha sido ligeiramente diferente. Já para CEa, os valores medidos maiores que 15,2 Ohms apresentaram valores bem significativos, por este motivo, os dados encontrados foram submetidos a análise no software R, via RStudio (Tabela 4).

Tabela 4: Comparação entre médias de CEa com diferentes resistores de referência.

Resistor	Condutividade Elétrica Aparente				
	175 Ohms	218 Ohms	266 Ohms	327 Ohms	CEa Teórica
1,1 Ohms	532,5683 A	529,4837 A	537,122 B	525,0118 C	482,2877
15,2 Ohms	35,8022 A	35,7231 B	35,8739 C	35,8801 C	34,9024
22,3 Ohms	24,4789 A	24,509 B	24,4521 C	24,3782 D	23,79
55,2 Ohms	9,7206 A	9,7177 B	9,7306 C	9,7149 B	9,6108
80,5 Ohms	6,6301 A	6,6424 B	6,6076 C	6,5844 D	6,5903
147 Ohms	3,6263 A	3,6296 B	3,6298 B	3,6341 C	3,609
318 Ohms	1,6574 A	1,6584 A	1,6503 B	1,6500 B	1,6683
801 Ohms	0,6593 A	0,6600 B	0,6600 B	0,6589 A	0,6623

*Letras iguais na mesma linha indicam igualdade estatística entre as médias apresentadas nas diferentes colunas.

A tabela 4 apresenta as médias das CEa obtidas com diferentes resistores de referência comparados por meio do Teste-t ao nível de 5% de significância. Com base nos dados analisados e considerando todos os resistores utilizados, o resistor de referência que representa com maior proximidade aos valores teóricos de CEa foi o resistor de 327 Ohms. Dessa forma, o resistor de 327 Ohms se mostrou mais eficaz, e portanto, para um protótipo de campo, ele é o resistor mais recomendado entre os utilizados no experimento.

Tabela 5: Erro percentual médio de CEa.

Resistor	Erro percentual			
	175 Ohms	218 Ohms	266 Ohms	327 Ohms
1,1 Ohms	10,43%	9,79%	11,37%	8,86%
15,2 Ohms	2,58%	2,35%	2,78%	2,80%
22,3 Ohms	2,90%	3,02%	2,78%	2,47%
55,2 Ohms	1,14%	1,11%	1,25%	1,08%
80,5 Ohms	0,60%	0,79%	0,26%	0,09%
147 Ohms	0,48%	0,57%	0,58%	0,70%
318 Ohms	0,65%	0,59%	1,08%	1,10%
801 Ohms	0,46%	0,35%	0,35%	0,52%
Erro médio	2,40%	2,32%	2,56%	2,20%

Os erros médios englobando todas as análises foram considerados como baixos e foram comparados com os erros do protótipo proposto por Sousa (2019), onde os erros médios, foram consideravelmente menores para resistências inferiores a 220 Ohms e utilizando um resistor de referência de 180 Ohm e conversor analógico digital de maior resolução.

O protótipo em todas as situações se mostrou fiel aos valores medidos, possuindo erros baixos quando comparado aos valores teóricos e mostrando-se como promissor na utilização em campo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensor desenvolvido se mostrou promissor e com custo extremamente baixo, sendo uma ótima solução de baixo custo para agricultura, podendo ser inclusiva para a agricultura familiar, auxiliando na detecção da variabilidade espacial e temporal de atributos do solo, quantificação de insumos.

Apesar do sensor ter demonstrado resultados satisfatórios, para melhor investigação sobre seu potencial, o equipamento poderá ser comparado com outros medidores de CEa que utilizam corrente alternada na determinação de CEa.

O modelo desenvolvido foi baseado no modelo de medição de 4 eletrodos, mas posteriormente poderá ter o método de medição modificado para um modelo mais preciso e melhor aceito comercialmente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, F. S.; ZANDONADI, R. S. Low cost apparatus for apparent soil electrical conductivity measurement based on direct current. **Nativa, Sinop**, [s. l.], v. 5, ed. 1, p. 37 - 41, 2017.

CUNHA, K. C. B.; ROCHA, R. V. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, jul./dec. 2015. ISSN: 2448-0452

IGBOAMA, W. N.; UGWU, N. U. Fabrication of resistivity meter and its evaluation. **American Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 2, n. 5, p. 713-717, 2011.

MACHADO, J.; PADILHA, M. R. F.; LIRA, F. P.; OLIVEIRA, J. G.; SILVA, R. S.; CAETANO, M. B. C. Agricultura de Precisão e abertura de novas fronteiras no Brasil. **Revista GEAMA**, Recife, PE, v. 4, ed. 1, p. 049 - 053, 2018.

MEDEIROS, W. N.; VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; ASSIS, I. R. Apparent soil electrical conductivity in two different soil types. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 49, ed. 1, p. 43-52, 2018.

PEDRERA-PARRILLA, A.; VAN DE VIJVER, E.; VAN MEIRVENNE, M.; ESPEJO-PÉREZ, A. J.; GIRÁLDEZ, J. V.; VANDERLINDEN, K. Apparent electrical conductivity measurements in an olive orchard under wet and dry soil conditions: significance for clay and soil water content mapping. **Precision Agriculture**, v. 17, n. 5, p. 531–545, 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11119-016-9435-z>>. Acesso em: 26 maio 2022.

RUEDA, J. M. T. Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos: Saline soil application: saline agriculture and soil recovery. **Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica**, [s. l.], v. 5, ed. 1, p. 1539 - 1563, 2019.

SILVA, T. J. A.; SANTOS, M. N. F.; PACHECO, A. B.; SILVA, E. M. B.; DUARTE, T. F. AVALIAÇÃO DE MÉTODO ALTERNATIVO E DE CONDUTIVÍMETROS NA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v. 14, ed. 2, p. 3987-3996, 2020.

SOUSA, E. D. T. S. **DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA MULTI-SENSOR DE SOLOS PARA USO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO**. Orientador: Daniel Marçal de Queiroz. 2019. 99 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade federal de viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola, MINAS GERAIS, 2019.