

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS
MICROELETRÔNICA

GABRIEL DE ALMEIDA FILGUEIRA

ESTUDO DO EFEITO DA ÁGUA ATIVADA POR PLASMA NO CRESCIMENTO DE
PLANTAS

São Paulo

2020

GABRIEL DE ALMEIDA FILGUEIRA

ESTUDO DO EFEITO DA ÁGUA ATIVADA POR PLASMA NO CRESCIMENTO DE
PLANTAS

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em
Microeletrônica da Faculdade de Tecnologia de São
Paulo como requisito para a obtenção do título de
Tecnólogo em Microeletrônica.

Orientador: Prof. Roberto Katsuhiro Yamamoto

São Paulo
2020

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por cuidar de minha vida secular, concedendo-me saúde e determinação para ultrapassar dificuldades apresentadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos, que me incentivaram em todos os momentos e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Ao professor Roberto Katsuhiko Yamamoto, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade, podendo dividir seu vasto conhecimento na área de plasmas frios.

Aos meus colegas de curso, com os quais tive a oportunidade de conviver durante estes últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram aprimorar não só como pessoa, mas também como formando.

Aos professores e auxiliares docentes, que me ajudaram e orientaram em determinados assuntos e atividades acadêmicas ao longo destes anos do curso.

À Faculdade de Tecnologia de São Paulo que foi essencial para o meu processo de formação acadêmica e profissional.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

“A análise de longo prazo, necessariamente, inclui o exame das consequências de curto prazo.”

Ludwig von Mises

RESUMO

Plasmas frios, em pressão atmosférica, apresentam diversos tipos de aplicações como esterilização de alimentos e aprimoramento de produção nos setores alimentícios e agrícola respectivamente. Neste último setor, os tratamentos direto e indireto de sementes estão sendo desenvolvidos a partir do plasma na agricultura. Este último tratamento citado diz respeito ao processo de ativação da água para rega de plantas. Tal processo de ativação está vinculado com a interação de certas espécies reativas formadas no plasma frio com a água e, após rega, sementes. Quando o plasma opera em regime do tipo não-térmico, a ocorrência de reações químicas específicas primárias é privilegiada e, em seguida, elas sofrem um processo de difusão na água que originarão as espécies reativas secundárias nela. A importância de algumas espécies geradas como íons nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) na água de rega é dada pela participação delas no processo de fertilização do solo. Por tal importância, o objetivo deste trabalho é estudar os efeitos da água ativada por plasma no crescimento de plantas. Para isso, foi reproduzida uma configuração de eletrodos divergentes para formação de uma descarga de plasma ora quente ora frio neste trabalho acadêmico. A partir dessa configuração, a descarga em arco deslizante foi formada, mediante aplicação de alta tensão (2,76 kV) e um fluxo de ar (3,2 L/min) através de um gerador de alta tensão (composto por um reator de lâmpada fluorescente compacta e um transformador *flyback*) e uma bomba de aquário respectivamente. A eficiência do processo de ativação foi medida a partir de aferições do pH da água por métodos semiquantitativos e quantitativos ao decorrer do tempo de exposição ao plasma frio, obtendo resultados de variação de 3,5 a 4,0 do pH aparentemente neutro até o mais ácido em diferentes volumes de água e tempos de tratamento. Tal decaimento dos valores de pH tem embasamento com a literatura. Com isso, foi possível notar os efeitos de crescimento mais significativos nos grupos de alpiste, que receberam rega com a água ativada dada à exposição ao plasma por 180 minutos, dado que houve maior taxa de germinação e maior altura dos ramos em um sistema de plantio sem controle de certos parâmetros como tempo de iluminação e temperatura. Em um sistema de plantio parcialmente controlado (tempo de iluminação), as taxas de germinação e crescimento foram altas em sementes de cebolinha-verde, tendo rega com água ativada por 210 minutos. Este estudo se mostra bastante promissor para o avanço das aplicações de plasma frio no tratamento da água de rega para gerar um aumento da produtividade no setor agrícola.

Palavras-chave: plasma, arco deslizante, plasma na agricultura, espécies reativas, taxas de germinação e crescimento.

ABSTRACT

Cold plasmas, under atmospheric pressure, present several types of applications such as food sterilization and production improvement in the food and agricultural sectors, respectively. In the latter sector, direct and indirect seed treatments are being developed from plasma in agriculture. This last mentioned treatment concerns the water activation process for plant irrigation. Such activation process is linked to the interaction of certain reactive species formed in cold plasma with water and, after watering, seeds. When the plasma operates in a non-thermal type regime, the occurrence of specific primary chemical reactions is privileged and, then, they undergo a diffusion process in the water that will originate the secondary reactive species in it. The importance of some species generated as nitrite (NO_2^-) and nitrate (NO_3^-) ions in irrigation water is given by their participation in the soil fertilization process. For this importance, the aim of this work is to study the effects of plasma activated water on plant growth. For this, a divergent electrode configuration was reproduced to form a plasma discharge, either hot or cold, in this academic work. From this configuration, the gliding arc discharge was formed by applying high voltage (2.76 kV) and an air flow (3.2 L / min) through a high voltage generator (composed of a reactor compact fluorescent lamp and a flyback transformer) and an aquarium pump, respectively. The efficiency of the activation process was measured from water pH measurements by semi-quantitative and quantitative methods over the time of exposure to cold plasma, obtaining results of variation from 3.5 to 4.0 from the apparently neutral pH to the most acid in different volumes of water and treatment times. Such a decline in pH values is supported by the literature. Thereat, it was possible to notice the effects of more acquired growth in the birdseed groups, which received irrigation with activated water given the exposure to plasma for 180 minutes, given that there was a higher germination rate and greater height of the branches in a planting system without control of certain parameters such as lighting time and temperature. In a partially controlled plant system (lighting time), as germination and growth rates were high in chives seeds, with watering activated for 210 minutes. This study is very promising for the advancement of cold plasma applications in the treatment of irrigation water to generate an increase in productivity in the agricultural sector.

Keywords: Cold plasma, gliding arc, plasma in agriculture, reactive species, germination and growth rates.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Arranjo experimental da Sonda de Langmuir.	12
Figura 2. A evolução dos 5 estados físicos da matéria devido à transferência de energia.	13
Figura 3. Classificação de acordo com a temperatura do plasma e densidade de eletrônica. ..	17
Figura 4. Representação simplificada do processo de ionização por impacto direto eletrônico.	17
Figura 5. Alguns processos colisionais para a formação do plasma representados em: a)excitação; b) ionização; c) dissociação; d) relaxação.....	18
Figura 6. Representação esquemática do arco deslizante.....	19
Figura 7. Representação do arco deslizante em cortes sendo A: regime térmico; B: transição e C: regime não-térmico.	20
Figura 8. Curvas de tensão em função da corrente para classificar os diferentes tipos de descarga de acordo com Modelo de Townsend.....	21
Figura 9. Algumas interações físico-químicas do processo de ativação da água por plasma. .	23
Figura 10. Representação esquemática do ciclo do nitrogênio na natureza.	25
Figura 11. Mudanças de espinafre e seus crescimentos em relação à água de rega, sendo uma de controle (água normal), e as outras com ativação da água por 15 minutos e 30 minutos.	26
Figura 12. Arranjo experimental esquemático para ativação da água.	27
Figura 13. Pinagem do transformador <i>flyback</i>	28
Figura 14. Segundo protótipo de gerador de alta tensão dentro de uma caixa de inspeção adaptada.	29
Figura 15. Dimensões dos tubos de ensaios nos quais serão posicionados os eletrodos de cobre e mangueira de silicone.	31
Figura 16. Reator de ativação da água composto por um frasco de capacidade total de 800 ml.	32
Figura 17. Sequenciamento de cores para medição da transição do valor pH da água.	34
Figura 18. Arduino NANO.....	35
Figura 19. Módulo RTC DS3231	36
Figura 20. Módulo de Relê.	37
Figura 21. <i>Display</i> de LCD com o módulo I2C embutido atrás.....	39
Figura 22. Primeiro e segundo grupos amostrais de alpiste em seus respectivos vasos rotulados.	40
Figura 23. Seringas de 50ml rotuladas.	41

Figura 24. Terceiro e quarto grupos amostrais de alpiste e seus respectivos vasos rotulados.	42
Figura 25. Gráfico de absorção luminosa de cada pigmento em função do comprimento de onda da luz.	43
Figura 26. Espectro de emissão visível característico da lâmpada fluorescente chamada de “Luz do Dia”.....	43
Figura 27. Vista dos vasos contendo sementes de feijão-de-vagem em primeiro plano (três vasos na frente) e cebolinha-verde, segundo plano (três vasos ao fundo).....	44
Figura 28. Vistas do local de armazenamento e suas dimensões feitas no Autocad.	45
Figura 29. Vistas interna e externa do local de armazenamento.	47
Figura 30. Confirmação dos pinos de entrada no transformador <i>flyback</i>	48
Figura 31. Curvas de tensão por tempo nos diferentes arranjos.	50
Figura 32. Protótipo de arco deslizante mediante fluxo de ar à pressão atmosférica dentro do tubo de ensaio.	51
Figura 33. Testes de pH a partir da referência (0 minuto) até 120 minutos de ativação da água para rega do alpiste.	52
Figura 34. Testes de pH de 125 a 180 minutos de ativação de 150 ml água restantes para rega do alpiste.....	53
Figura 35. Testes de pH da referência até 135 minutos de ativação da água de rega do feijão-de-vagem e cebolinha-verde.	54
Figura 36. Testes de pH de 150 até 210 minutos de ativação da água de rega do feijão-de-vagem e cebolinha-verde.....	55
Figura 37. Gráfico de diagrama de caixa contendo a variação de pH de água de rega do alpiste.	57
Figura 38. Gráfico de diagrama de caixa contendo a variação de pH de água de rega do feijão-de-vagem e cebolinha-verde.	58
Figura 39. Grupos 1 e 2 sendo representados nos dias 0 e 4 de desenvolvimento.	60
Figura 40. Grupos 1 e 2 sendo representados nos dias 20 e 40 de desenvolvimento.	61
Figura 41. Grupos 1 e 2 sendo representados nos dias 50 e 70 de desenvolvimento.	62
Figura 42. Grupos 3 e 4 sendo representados nos dias 0 e 4 de desenvolvimento do alpiste...	63
Figura 43. Grupos 3 e 4 sendo representados nos dias 20 e 30 de desenvolvimento do alpiste.	64
Figura 44. Grupos 3 e 4 sendo representados nos dias 40 e 60 de desenvolvimento do alpiste.	65

Figura 45. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação parcial nos dias 0 e 10 do desenvolvimento da cebolinha-verde.	66
Figura 46. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação parcial nos dias 20 e 30 de desenvolvimento da cebolinha-verde.	67
Figura 47. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação integral nos dias 0 e 10 de desenvolvimento da cebolinha-verde.	68
Figura 48. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação integral nos dias 20 e 30 de desenvolvimento da cebolinha-verde.	69
Figura 49. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação parcial nos dias 0 e 30 de desenvolvimento do feijão-de-vagem.....	70
Figura 50. Aumento de pH após tratamento da água por plasma frio.	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Breve Histórico.....	12
1.2 Definição de Plasma e sua Geração.....	13
1.3 Tipos de Plasma e suas Aplicações.....	16
1.4 Formação do Arco Deslizante (<i>Gliding Arc</i>).....	18
1.5 Aplicação do Plasma Frio na Agricultura.....	21
1.6 Objetivos.....	25
1.6.1 Objetivos gerais.....	25
1.6.2 Objetivos específicos.....	26
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
2.1 Gerador de Alta Tensão.....	27
2.2 Ativação da Água.....	29
2.2.1 Métodos de análise de pH da água.....	33
2.2.1.1 Método semiquantitativo.....	33
2.2.1.2 Método quantitativo.....	34
2.3 Sistema de Controle.....	34
2.3.1 Controle de tempo.....	36
2.3.2 Controle de corrente.....	37
2.3.3 Leitor de pH da água.....	37
2.3.4 Programação e visualização de parâmetros.....	38
2.4 Sistemas de Plantio Experimentais.....	39
2.4.1 Sem controle.....	39
2.4.1.1 Alpiste.....	40
2.4.2 Controle parcial.....	42
2.4.2.1 Cebolinha-verde e feijão-de-vagem.....	44
2.4.2.2 Local de armazenamento.....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
3.1 Gerador de Alta Tensão.....	48

3.1.1	Análise elétrica da entrada do <i>flyback</i>	48
3.1.2	Análise elétrica na saída do <i>flyback</i>	49
3.2	Protótipo de Arco Deslizante.....	49
3.3	Ativação da Água	51
3.3.1	Medidas semiquantitativas do pH	51
3.3.1.1	Alpiste	51
3.3.1.2	Feijão-de-vagem e cebolinha-verde	54
3.3.2	Medidas quantitativas do pH.....	56
3.3.2.1	Alpiste	56
3.3.2.2	Feijão-de-vagem e cebolinha-verde	58
3.4	Análise Comparativa do Crescimento das Plantas	59
3.4.1	Alpiste	59
3.4.2	Cebolinha-verde	66
3.4.3	Feijão-de-vagem.....	70
3.5	Perda do Efeito de Ativação da Água.....	70
4.	CONCLUSÃO	72
4.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	73
	REFERÊNCIAS	75
	APÊNDICE A – Ativação da água e perda deste efeito.....	77
	APÊNDICE B – Sistema de controle	82
	APÊNDICE C – Sistemas de plantio experimentais	87
	APÊNDICE D – Resumo publicado no Boletim Técnico da FATEC-SP, Edição Especial, v.50, p. 53, 2020.	88
	ANEXO A – Sistema de controle.....	89
	ANEXO B – Aplicação do plasma frio ou descarga luminescente na agricultura.....	90

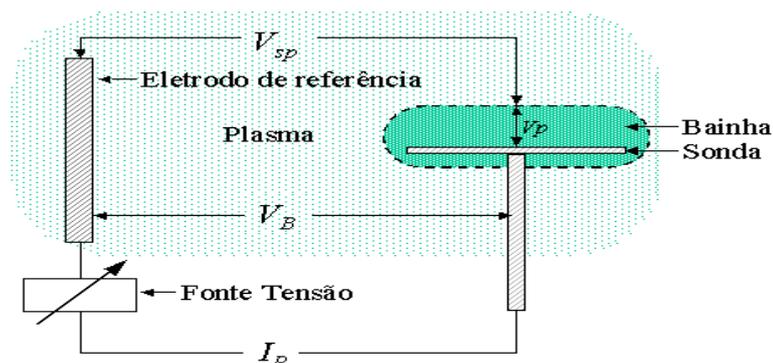
1. INTRODUÇÃO

1.1 Breve Histórico

O termo plasma tem sua origem na Grécia Antiga no qual tem como significado “aquilo que é moldado ou formado”. O cientista médico tcheco chamado Johannes Purkinje (1787-1869) utilizou esse termo para descrever o fluído transparente do sangue quando ele está limpo dos vários corpúsculos como glóbulos vermelhos (hemoglobinas) e brancos (leucócitos). Na primeira metade do século 20, o químico americano Irving Langmuir usou o mesmo termo para descrever o gás ionizado, fazendo a analogia do transporte dos corpúsculos realizado pelo plasma sanguíneo com o transporte de cargas como elétrons e íons por um fluído eletrificado o qual faz referência ao gás ionizado [1].

Tal analogia foi desenvolvida em meio ao estudo físico-químico realizado com seu consócio no intuito de aumentar o tempo de vida útil das lâmpadas de filamento de tungstênio. Tal objetivo foi alcançado na primeira metade do século 20 e, por meio disso, descreveram a teoria da bainha do plasma associada à pequena região escura entre o material do tubo e a luminescência (plasma) caracterizada pela baixa densidade de elétrons devido a efeitos de campos elétricos formados por diferença de potencial. Na época, tal descoberta recebeu o nome de “ondas de Langmuir” dando início aos futuros trabalhos direcionados à física do plasma [1] como experimentos relativos à Sonda de Langmuir, representada no arranjo experimental da Figura 1, para caracterização de propriedades elétricas referentes às descargas luminescentes e estudos direcionados para a produção de energia a partir de fusão nuclear com a criação do *tokamak* no final da década de 1960 [1].

Figura 1. Arranjo experimental da Sonda de Langmuir.

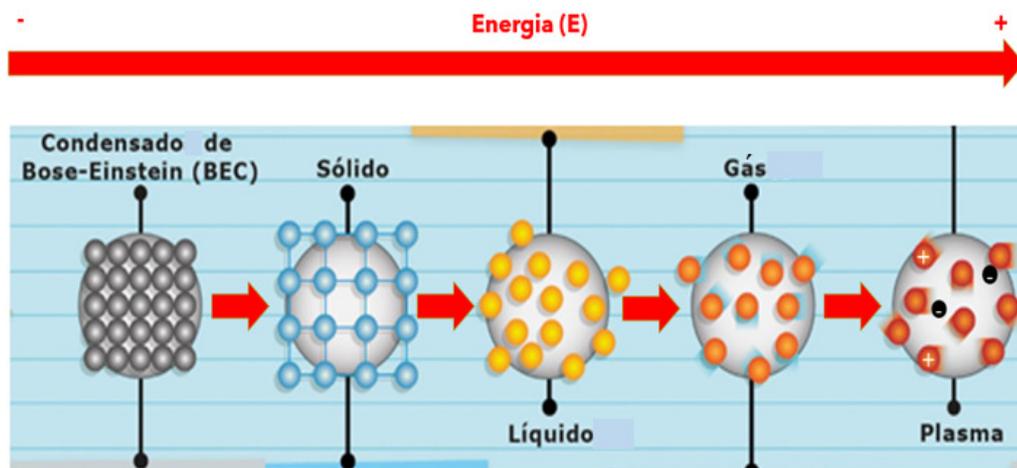


Fonte: <https://www2.sorocaba.unesp.br>

1.2 Definição de Plasma e sua Geração

Os quatro estados físicos da matéria conhecidos são: sólido, líquido e gasoso e plasma em que suas diferenças estão relacionadas às forças de ligação entre os átomos, sendo mais fortes na ordem decrescente de estados citados, necessitando uma troca de energia mínima para ocorrer uma mudança de estado físico fundamental [2]. O quinto e recém-descoberto estado é referente ao condensado de Bose – Einstein e será apenas citado neste trabalho devido a sua complexidade. A evolução destes cinco estados pode ser visualizada na representação da Figura 2.

Figura 2. A evolução dos 5 estados físicos da matéria devido à transferência de energia.



Fonte: <https://medium.com/> [Adaptado].

Pode-se observar que à medida em que um gás recebe certa quantidade de energia cinética e/ou potencial tende a passar do estágio molecular para atômico devido aos processos de dissociações gradativas e ionizações sucessivas. Após sucessivos processos colisionais, tal fluido adquire um estado total ou parcialmente ionizado estabelecendo assim uma região macroscópica neutra na qual possui várias interações entre os elétrons livres, íons, radicais e partículas neutras. O termo ionizado significa que pelo menos um átomo do gás recebe energia de tal maneira que o elétron mais energético seja forçado a sair da camada de valência, gerando um átomo ionizado, ou seja, um íon positivo. Devido ao comportamento coletivo das partículas por dada presença de forças de atração e repulsão de Coulomb, dá-se origem ao quarto estado

da matéria denominado plasma o qual contém alguns critérios para sua existência [2] que serão explicados a seguir.

Dentre vários parâmetros, os fundamentais para caracterização do plasma são: densidade (cm^{-3}), temperatura (K) e campo magnético de estado estacionário (B) relativos às partículas dentro do plasma [1]. A partir deles, os critérios de existência do plasma são estabelecidos.

O primeiro critério diz respeito à neutralidade de cargas na região macroscópica do plasma na qual ocorre uma equivalência entre as densidades de cargas positivas (íons positivos) e negativas (elétrons e íons negativos) demonstrada na Equação 1:

$$n_p = n_n \quad (1)$$

Onde:

n_p = Densidade de cargas positivas (cm^{-3})

n_n = Densidade de cargas negativas (cm^{-3})

O segundo critério tem relação com a distância mínima na qual a influência do campo elétrico gerado por uma partícula carregada é sentida pelo restante das cargas presentes no plasma e, para esta distância, nomeou-se como comprimento de *Debye*. Respeitando o primeiro critério, as partículas carregadas têm um comportamento coletivo no qual se arranjam de uma forma a manter uma proteção de qualquer campo eletrostático a uma distância mínima entre as partículas. Dada proteção denomina-se como blindagem de *Debye* a qual é estabelecida por efeitos de coletividade das partículas dentro do plasma [2]. No vácuo, tal distância ou comprimento mínimo pode ser quantificado utilizando a Equação 2:

$$\lambda_d = \left(\frac{\epsilon_0 \cdot k \cdot T_e}{n_e \cdot e^2} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Na qual:

λ_d = Comprimento de *Debye* (m)

ϵ_0 = Constante de permissividade elétrica no vácuo ($8,85 \cdot 10^{-12}$ F. m^{-1})

k = Constante de Boltzmann ($8,62 \cdot 10^{-15}$ eV. K^{-1})

T_e = Temperatura do elétron (K)

n_e = Densidade de elétrons (m^{-3})
 e = carga elementar do elétron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C)

Cabe ressaltar que, para tal blindagem ter o efeito desejado, o comprimento de *Debye* deve ser muito menor do que a dimensão característica do plasma (L), mantendo assim o primeiro critério [2] caso a Equação 3 seja respeitada:

$$L \gg \lambda_d \quad (3)$$

E o terceiro critério têm relação com frequência do plasma a qual relaciona-se com a manutenção da neutralidade macroscópica do plasma e a blindagem de *Debye* dada a estabilidade do campo magnético estacionário. Para manter tais condições de existência, o período de oscilação ou frequência do plasma deve ser mantida em equilíbrio. Tal frequência é correspondente aos elétrons já que íons são muito pesados comparativamente para ter um comportamento oscilatório expressivo. Quando há uma perturbação externa ao plasma, idealmente em repouso, ocorre uma mudança abrupta no campo elétrico do plasma fazendo que os elétrons acelerem coletivamente para restabelecer a neutralidade de carga do plasma. Entretanto, a inércia dos elétrons faz com que eles se movam além do equilíbrio, fazendo com que o campo elétrico mude de direção provocando rápidas oscilações coletivas entre elétrons e íons [2]. Tal conjunto de oscilações é chamado de frequência angular ou natural do plasma que é quantificada na Equação 4.

$$\omega_{pe} = \left(\frac{n_e \cdot e^2}{m_e \cdot \epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Sendo:

ω_{pe} = Frequência do plasma (Hz)
 ϵ_0 = Constante de permissividade elétrica no vácuo ($8,85 \cdot 10^{-12}$ F. m^{-1})
 m_e = Massa do elétron (kg)
 n_e = Densidade de elétrons (m^{-3})
 e = carga elementar do elétron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C)

1.3 Tipos de Plasma e suas Aplicações

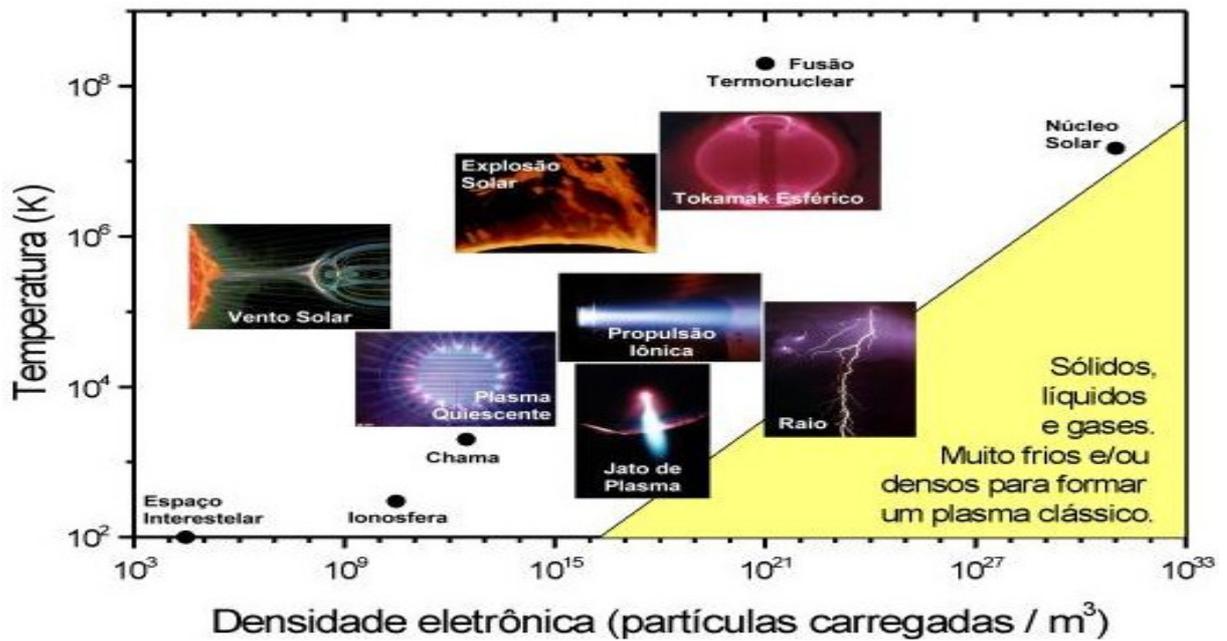
No cotidiano, pode-se contemplar diversos exemplos de plasma como no simples fato de apertar um interruptor e acender uma lâmpada fluorescente ou no ato de riscar um fósforo provocando a combustão do material e, em seguida, dá-se origem ao fogo. Em um cenário mais complexo, a ocorrência do efeito de luminescência da aurora boreal nos polos terrestres que está diretamente ligado com efeito corona relacionado a fusão nuclear do Sol que é classificado como uma estrela dentre inúmeras presentes no universo. Dentre vários processos dentro desse sistema, a ocorrência de luz manifestada em uma lâmpada fluorescente é originada a partir de plasma frio, já a ocorrência de luz do Sol, quente.

A classificação destes dois tipos de plasma citados está associada aos parâmetros de temperatura e densidade eletrônica (Figura 3). O primeiro parâmetro é descrito pelo produto kT_e no qual “k” representa a constante de Boltzmann e “ T_e ”, temperatura dos elétrons ou eletrônica. Considerando 1 eV (elétron-Volts) equivalente a 11600 K aproximadamente. Os plasmas frios têm a temperatura eletrônica maior que íons ($T_e \gg T_i$) apresentando um desequilíbrio termodinâmico e, na maioria dos exemplos de plasma frio, não ocasiona altas variações de temperatura no gás correspondendo a centésimos de eV, além de apresentar uma baixa densidade de elétrons. Já os plasmas quentes apresentam um equilíbrio termodinâmico de suas espécies com carga ($T_e = T_i$) causando altas variações de temperaturas no gás podendo atingir até milhares de eV mantém uma densidade eletrônica alta [7].

Devido ao equilíbrio termodinâmico característico de um plasma térmico (quente), o processo de ionização é realizado tanto por colisões entre partículas neutras quanto os elétrons ejetados pelos eletrodos (efeito termiônico) que chocando-se com a eletrosfera das demais moléculas ou átomos neutros do sistema gasoso. Por este motivo, a transferência de energia para o gás é basicamente térmica, fazendo com que aumente a excitação dos graus de liberdade da maioria das moléculas do gás ionizado, apresentando assim uma baixa seletividade química [7]. Tal seletividade está relacionada a estimulação de reações químicas específicas dentro do plasma.

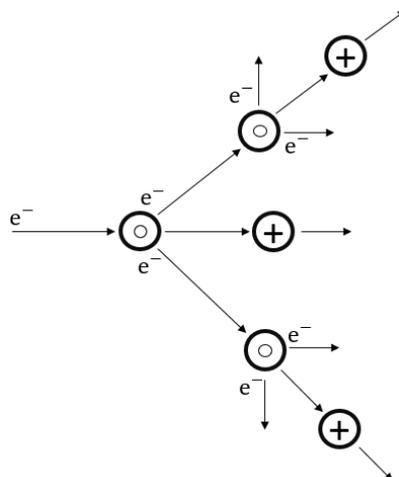
Para o plasma não-térmico (frio), é possível privilegiar tal estimulação dado que seu processo de ionização ocorre por transferência de energia ocasionada pelo impacto eletrônico direto, preferencialmente, apresentando assim uma alta seletividade química neste tipo de plasma.

Figura 3. Classificação de acordo com a temperatura do plasma e densidade de eletrônica.



O impacto do elétron pode transferir uma certa quantidade de energia para um átomo neutro, permitindo a liberação de um ou mais elétrons de sua camada de valência. Tais elétrons livres farão o mesmo em outros átomos ou moléculas neutras presente no sistema, caracterizando assim ionizações sucessivas ou efeito avalanche, além de possíveis descargas causadas [7]. Tal processo de ionizações sucessivas está representado na Figura 4.

Figura 4. Representação simplificada do processo de ionização por impacto direto eletrônico.

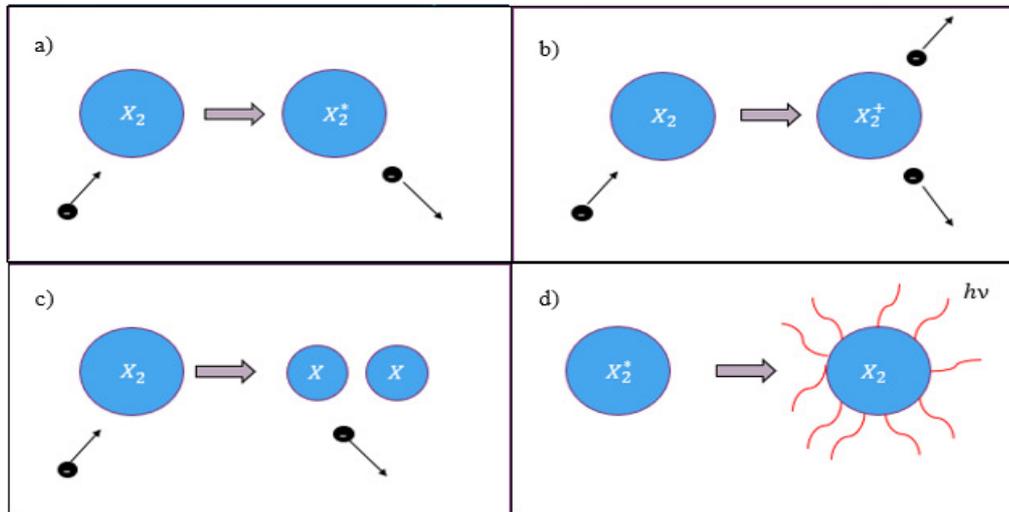


Fonte: Próprio Autor.

É possível observar a importância dos elétrons livres neste processo de ionização, pois eles tornam-se os principais responsáveis pela formação de espécies reativas no plasma, já que possuem alta energia cinética em relação aos íons e átomos. Mediante aplicação de campo elétrico externo, os processos colisionais tendem a ocorrer com mais frequência, mesmo quando o gás ionizado estiver próximo à temperatura ambiente no caso de alguns tipos de plasma frio. Dada situação beneficia a seletividade química para a formação de espécies reativas específicas a partir do gás [7].

Os processos colisionais mais relevantes para formação do plasma frio são: excitação, dissociação, ionização e relaxação. O processo de ionização tem destaque dado que dá origem a alguns elétrons livres presente no plasma que proporcionará os demais processos como dissociação, excitação e relaxação. Existem também alguns processos de perda caracterizados por recombinações. Dados processos colisionais em uma molécula genérica de gás estão representados na Figura 5.

Figura 5. Alguns processos colisionais para a formação do plasma representados em: a) excitação; b) ionização; c) dissociação; d) relaxação.



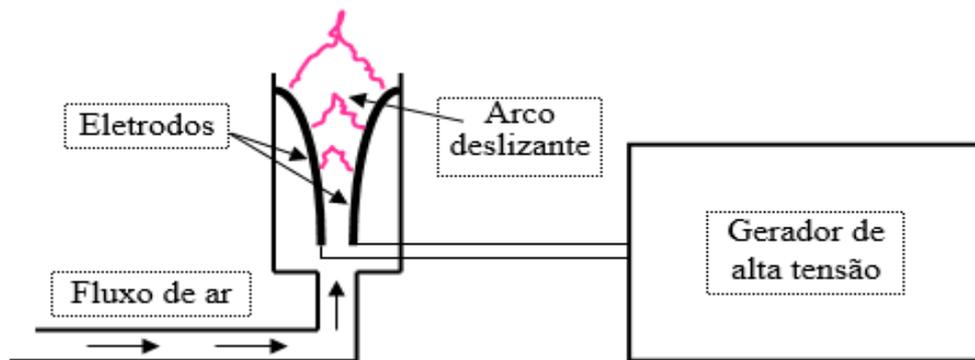
Fonte: Próprio Autor.

1.4 Formação do Arco Deslizante (*Gliding Arc*)

Há vários tipos de configuração para formação do plasma quente ou frio. Entre elas, existe uma configuração interessante na qual é possível obter ora plasma térmico ora não-térmico. Para este tipo de configuração deu-se nome de descarga em arco deslizante. Tal

arco tem sua origem no regime térmico com certo comprimento o qual sofre um alongamento, passando por uma transição até atingir o regime não-térmico de operação, mediante um fluxo de gás entre eletrodos divergentes. Ao aumentar seu comprimento, o arco aumenta a tensão de descarga até atingir sua potência máxima, extinguindo o plasma na etapa não-térmica e reiniciando o ciclo na etapa térmica no ponto de distância mínima entre os eletrodos [9] como pode ser visto pelo arranjo presente na Figura 6.

Figura 6. Representação esquemática do arco deslizante.



Fonte: Próprio Autor.

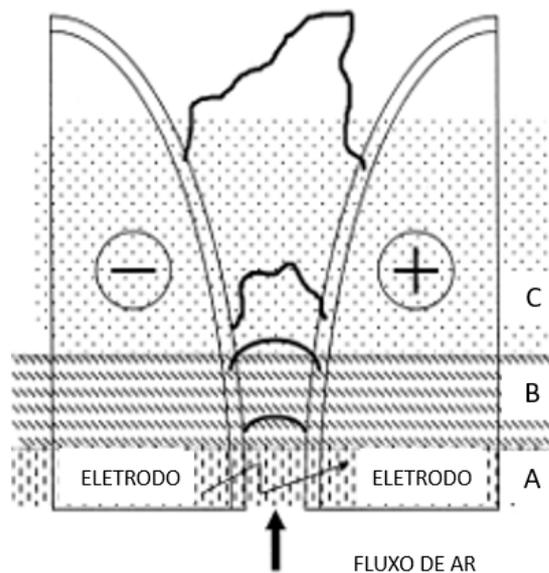
A fase de transição citada apresenta as melhores condições entre o plasma quente e frio já que nela há maior seletividade química e maior densidade eletrônica à pressão atmosférica. Entretanto, devido conflitos entre alguns modelos experimentais realizados até o momento, foram observadas algumas discrepâncias em relação a este tipo de descarga em arco a qual se concentra, por maior intervalo de tempo, no regime não-térmico do que na transição entre os regimes de operação, gerando assim algumas contradições [7].

Baseando-se nas concordâncias entre modelos experimentais, as descargas presentes no arco deslizante podem ser originadas a partir de geradores de corrente contínua ou alternada. Para a formação do arco deslizante, aplica-se uma alta tensão com a qual provocará a ruptura dos gases presentes no ar entre os eletrodos que devem estar distanciados cerca de 1 mm a 2mm e quando o campo elétrico atinge o valor próximo a 3 kV/mm, formará o arco térmico [7].

Dado o fluxo de ar estabelecido, ocorre a passagem do regime térmico para transição e, em seguida, para o não-térmico. Essas passagens acontecem devido ao balanceamento de energia, ou seja, ocorre um aumento da potência da descarga até que sua resistência seja igual

à do circuito gerador, permitindo que haja máxima transferência de potência para a descarga do arco no regime não-térmico. Quando ocorrer a máxima transferência de potência do gerador de alta tensão para a descarga, o arco é resfriado devido ao fluxo de ar e ocorrendo assim uma queda progressiva da potência da descarga com a qual forçará a reiniciação do ciclo para o regime térmico na menor distância entre os eletrodos [7]. A representação dos regimes de operação presentes no arco deslizante está na Figura 7.

Figura 7. Representação do arco deslizante em cortes sendo A: regime térmico; B: transição e C: regime não-térmico.

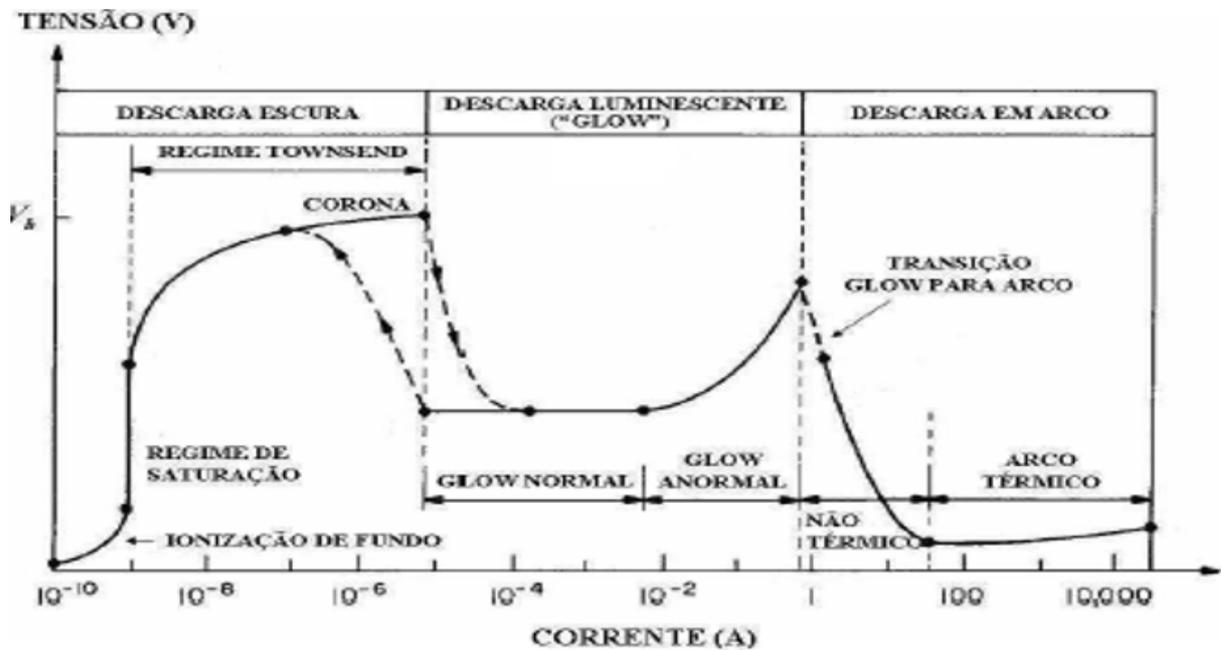


Fonte: Elaborado por FRIDMAN, Alexander et al. [10].

É importante ressaltar que cerca de 80% da potência transferida para descarga é dissipada no regime não-térmico no qual a seletividade química é privilegiada [7].

Para descrição quantidade da passagem dos tipos de plasma em diferentes regimes de operação, é utilizado um modelo que contém as classificações de diferentes tipos de descargas. A relação entre os níveis de tensão em função da corrente dos tipos de descargas está contida no gráfico o qual recebeu o nome de Modelo de Townsend (Figura 8).

Figura 8. Curvas de tensão em função da corrente para classificar os diferentes tipos de descarga de acordo com Modelo de Townsend.



Fonte: Reproduzido por SAGÁS, JULIO CÉSAR. [7]

1.5 Aplicação do Plasma Frio na Agricultura

Com o número de habitantes tendendo à 8 bilhões no mundo, há uma certa preocupação a respeito da quantidade dos recursos naturais que estão sendo mais explorados e consumidos. Dentre eles, um dos recursos mais preocupante seria o alimentar desde sua base, que é representada pelos cereais, frutas, vegetais entre outros os quais pertencem ao reino das plantas até alguns níveis superiores como a carne vermelha e branca presentes no reino animal.

Devido tal aumento populacional, a demanda por tal recurso tende a aumentar e, por isso, novas técnicas estão sendo mais estudadas para as aplicações tecnológicas para gerar aumento da oferta alimentar, além de conservar tais alimentos da base antes, durante e após a colheita no setor agrícola [3].

Para isso, faz-se uso de certos produtos químicos como agrotóxicos e hormônios sintéticos com o objetivo de preservar os alimentos contra pragas e estimular o desenvolvimento das plantas respectivamente. Entretanto, alguns destes tratamentos podem gerar componentes bioacumulativos nas plantas o que poderá ser extremamente nocivos aos animais e seres humanos ao longo da cadeia alimentar.

Desta forma, a busca por novos caminhos, que possam acelerar a produção de alimentos sem atacar significativamente os seres vivos dos níveis superiores da teia alimentar na qual a espécie humana faz parte, tornou-se extremamente necessária. Com isso, os estudos na área de tratamento de alimentos por plasma frio têm sido muito mais explorados nos últimos anos.

O plasma frio tem a vantagem em relação ao plasma quente, pois é possível obter algumas espécies reativas como elétrons livres e íons essenciais através do processo de ionização de um ou vários gases sem afetar de maneira destrutiva certos materiais em contato direto ou indireto com o plasma, dependendo de alguns parâmetros como a pressão do sistema, temperatura e densidade de elétrons. Na área da microeletrônica, em meados de 1970, observou-se o início de aplicações tecnológicas utilizando o plasma frio de certos gases como meio para a realização de corrosões ou deposições de filmes finos em superfícies sólidas para construção de dispositivos utilizando o silício, com ênfase em semicondutores, como material base ou substrato além de outros materiais da mesma família que apresentam algumas características semelhantes [6].

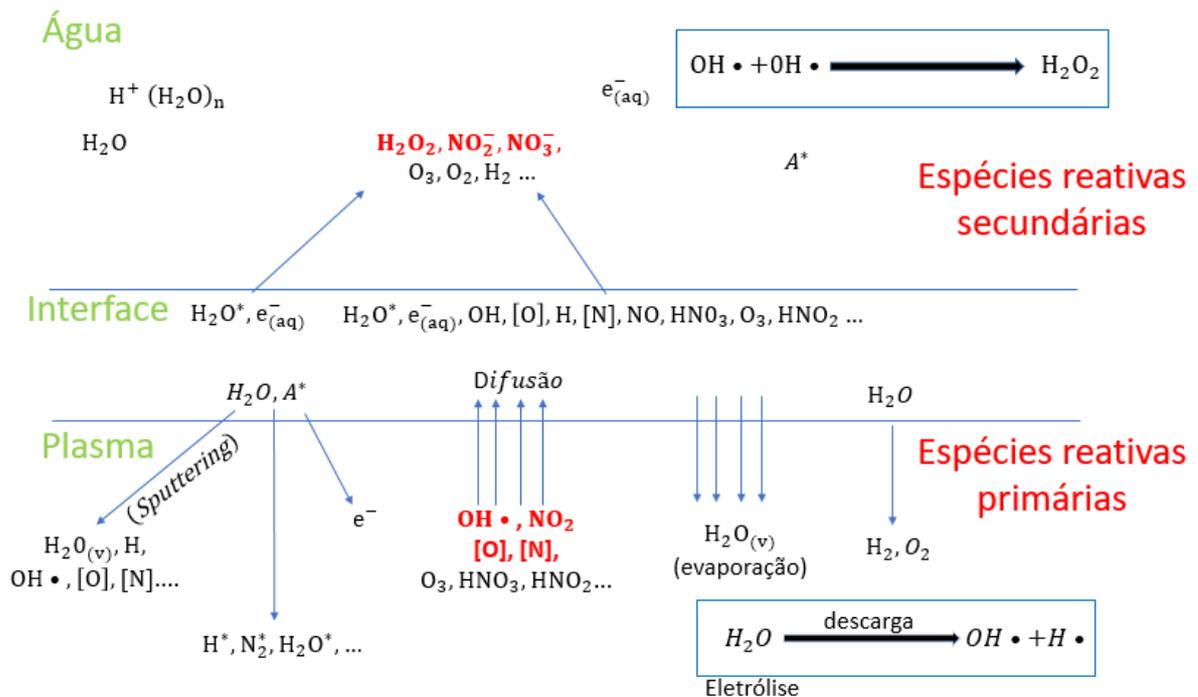
Recentemente, o plasma não-térmico está sendo mais requisitado em inovações na área agrícola, pois a geração de algumas espécies reativas, a partir do plasma, podem ser aproveitadas no aprimoramento tanto da taxa de germinação da semente e crescimento de plantas quanto em efeito antimicrobiano em alimentos ou certos líquidos. Os principais tratamentos por plasma frio podem ser feitos na superfície da semente, em alimentos e na descontaminação e inserção de componentes na água para irrigação das plantas.

O primeiro tratamento citado teve início no começo do século 21. Algumas sementes foram expostas ao plasma frio operado em baixa pressão (algumas centenas de mTorr) e alta frequência (até GHz) podem apresentar modificações como aumento no nível de absorbância da água e outros líquidos [5]. Os gases de trabalho como argônio, oxigênio, tetrafluoreto de carbono (CF_4) e outros presentes no ar foram utilizados, por alguns pesquisadores, para este tipo de tratamento [5]. Com o desenvolvimento de dispositivos capazes de gerar o plasma frio em pressão atmosférica, foi possível gerar resultados semelhantes aos plasmas com baixas pressões [5]. Portanto, tal inovação permite realizar processos com plasma frio sem o uso de equipamentos de alto custo como as válvulas e bombas de vácuo. Além do tratamento da superfície da semente, com a formação do plasma não-térmico, seja em baixa ou pressão atmosférica, pode-se gerar uma certa quantidade de espécies reativas a partir dos gases oxigênio (O_2) e nitrogênio (N_2) ou RONS (*Reactive Oxygen and Nitrogen Species*) as quais poderão ser absorvidas pelas células das sementes mediante alguns mecanismos biomoleculares [5].

O segundo tratamento citado envolve alguns processos de desinfecção de alimentos mediante a reação de algumas espécies reativas como formação de peróxido de hidrogênio ou água oxigenada e a exposição à radiação ultravioleta que é nociva para a maioria dos seres patogênicos [3, 8].

E o último tratamento está mais direcionado ao desenvolvimento das plantas desde a germinação até seu amadurecimento dado o processo de rega utilizando água ativada por plasma frio. Além da descontaminação e remoção de compostos voláteis orgânicos [5], este tipo de tratamento consiste na aplicação do plasma frio em contato direto ou indireto com água que formará as espécies reativas majoritárias, advindas do ar (RONS), que se difundirem do gás parcialmente ionizado para água em estado líquido e provocando assim sua ativação. Tais componentes, fórmulas e reações químicas características estão presentes na Tabela B-1 contida em Anexo B e, partir dela, serão demonstrados alguns processos colisionais e reações responsáveis pela ativação da água. Certas interações físico-químicas do processo de ativação da água por plasma estão representadas na Figura 9.

Figura 9. Algumas interações físico-químicas do processo de ativação da água por plasma.



Fonte: Adaptado pelo Autor.[16]

A geração de componentes chamados de espécies reativas primárias e secundárias, que participam do processo de ativação da água, são essenciais tanto no desenvolvimento das plantas quanto em efeitos antimicrobianos. Nos primeiros instantes, ocorre a formação de oxigênio (O) e nitrogênio (N) atômicos; ozônio (O₃) e alguns radicais livres como hidroxila (OH•) a partir do plasma dos principais gases presentes no ar. Estes componentes são denominados de espécies reativas primárias. Dada a interação dessas espécies com a água, possibilita a origem das espécies secundárias as quais destacam-se: óxido nítrico (NO); íons nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻); peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e peroxinitrito (ONOO⁻) [4]. Este último íon citado é um isômero estável do nitrato [4].

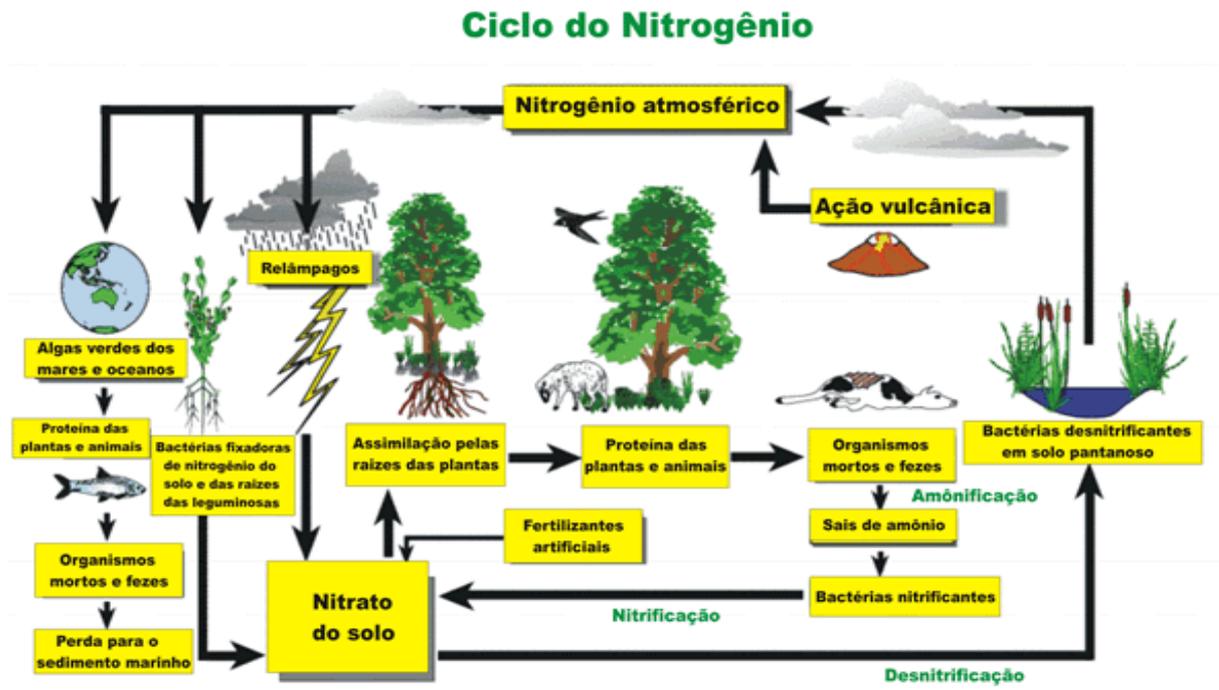
As espécies reativas secundárias essenciais para ativação da água serão: H₂O₂, NO₂⁻ e NO₃⁻. A primeira espécie reativa citada é uma das responsáveis pelo efeito antimicrobiano significativo que pode apresentar concentrações molares próximas de $0,6 \cdot 10^{-3} \text{M}$ (mol. L⁻¹) [4] em relação água. Tal componente é formado a partir das espécies reativas relativa à reação entre aos radicais do grupo hidroxila (OH•).

Os íons nitrato e nitrito também desempenham o papel antimicrobiano na água, entretanto, a função principal deles está relacionada com a fertilização do solo através da rega utilizando água ativada ou nitrogenada em relação a estes íons, podendo causar efeitos benéficos no crescimento das plantas. A formação dessas espécies pode ocorrer em dois estágios. No primeiro estágio, ocorre uma dissociação dos gases nitrogênio e oxigênio no plasma passando do estágio molecular para o atômico que, em seguida, formará o dióxido de nitrogênio (NO₂) o qual reagirá com a água, formando os íons NO₂⁻ e NO₃⁻. O íon nitrato pode ser gerado também em um segundo estágio, quando o íon nitrito reage com o íon hidrogênio positivo (H⁺) sendo que este último íon advém do peróxido de hidrogênio [4]. Por este motivo, uma das medidas indiretas para verificação da eficiência do processo de ativação é feita através da medida de pH da água. Também é possível medir através da variação do potencial de oxirredução, condutividade [4] e por espectrofotometria com radiação ultravioleta [17].

Em paralelo com a natureza, existem alguns tipos de bactérias classificadas como fixadoras de nitrogênio atmosférico em raízes de plantas leguminosas, nitrificantes e desnitrificantes as quais estabelecem uma relação de mutualismo com as raízes e vegetações de solos pantanosos. Com dada relação harmônica, a planta consegue obter componentes como nitrogênio em um solo pobre deste componente, para produção de proteínas e outros componentes; e as bactérias, alimentando-se de algumas substâncias não essenciais que são produzidas pelas plantas. Desde a fixação de nitrogênio no solo, a formação de íons nitrato e

nitrito até a devolução do nitrogênio para atmosfera faz parte do chamado ciclo do nitrogênio. As rotas de processos bioquímicos do ciclo do nitrogênio estão representadas na Figura 10.

Figura 10. Representação esquemática do ciclo do nitrogênio na natureza.



Fonte: <https://www.sobiologia.com.br/>

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivos gerais

Este trabalho de conclusão de curso visa a montagem da aparelhagem de um gerador de alta tensão para provocar a ruptura dos gases presentes no ar originando um tipo de descarga chamada de arco deslizante. Com a formação deste arco deslizante, conseguir a ativação da água por plasma frio e observar os efeitos, da rega com tal líquido modificado, no desenvolvimento de plantas como alpiste, cebolinha-verde e feijão-de-vagem.

1.6.2 Objetivos específicos

Com o intuito de comprovar os possíveis efeitos gerados, foram separados dois grupos principais de planta: um recebeu a rega com água sem nenhuma modificação que serviu de controle do processo e os demais, com ativação por plasma frio em diferentes tempos de descarga por meio de um protótipo de gerador de alta tensão e obtendo alguns parâmetros elétricos com auxílio de um osciloscópio. A partir deste gerador, produzir o plasma do tipo arco deslizante (*gliding arc*) em pressão atmosférica, mediante fluxo de ar obtido através de uma mini bomba compressora de ar utilizada em aquário.

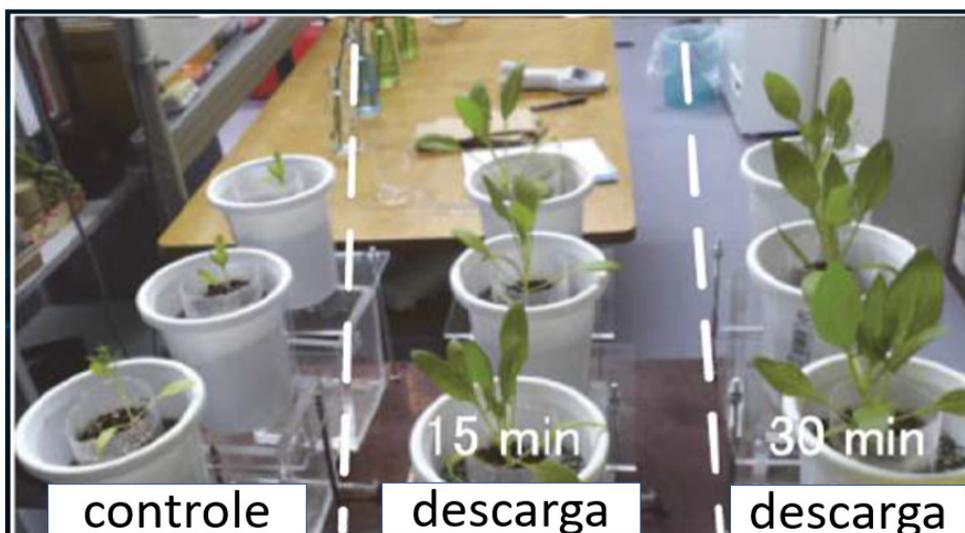
Desenvolver um arranjo experimental no qual deverá conter um reator passível de se realizar o processo de ativação da água.

Caso possível, fazer um controle automatizado dos equipamentos como: o gerador de alta tensão, lâmpadas e mini compressor de ar através de um microcontrolador da plataforma Arduino.

A detecção da efetividade de ativação da água por plasma frio em função do tempo deve ser realizada por métodos de análises do pH da água.

Com isso, realizar a rega dos diferentes grupos de plantas e fazer o registro diário da evolução do crescimento delas por meio de uma câmera de celular. Ao final deste trabalho e a partir desse registro, as discussões dos resultados obtidos devem ser feitas, mediante uma possível comparação com os efeitos presentes na literatura demonstrados na Figura 11.

Figura 11. Mudas de espinafre e seus crescimentos em relação à água de rega, sendo uma de controle (água normal), e as outras com ativação da água por 15 minutos e 30 minutos.

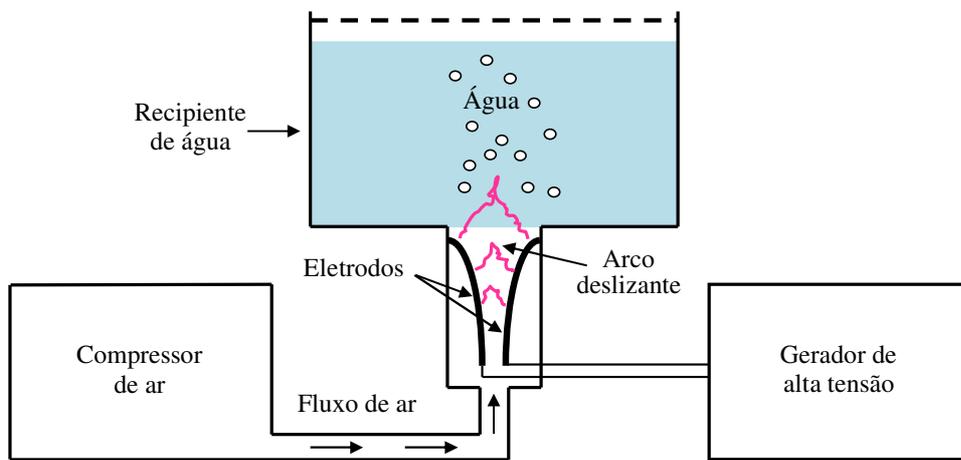


Fonte: Reproduzido e adaptado por THIRUMDAS, Rohit et al [3].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho consiste em três etapas principais como: A construção do gerador de alta tensão. A estruturação de um reator composto por um recipiente, tubo de ensaio, mini bomba compressora de aquário e eletrodos para ativação da água. E o sistema de controle automatizado por microcontrolador da plataforma Arduino. Tal arranjo, das primeiras duas etapas citadas, está representado na Figura 12.

Figura 12. Arranjo experimental esquemático para ativação da água.



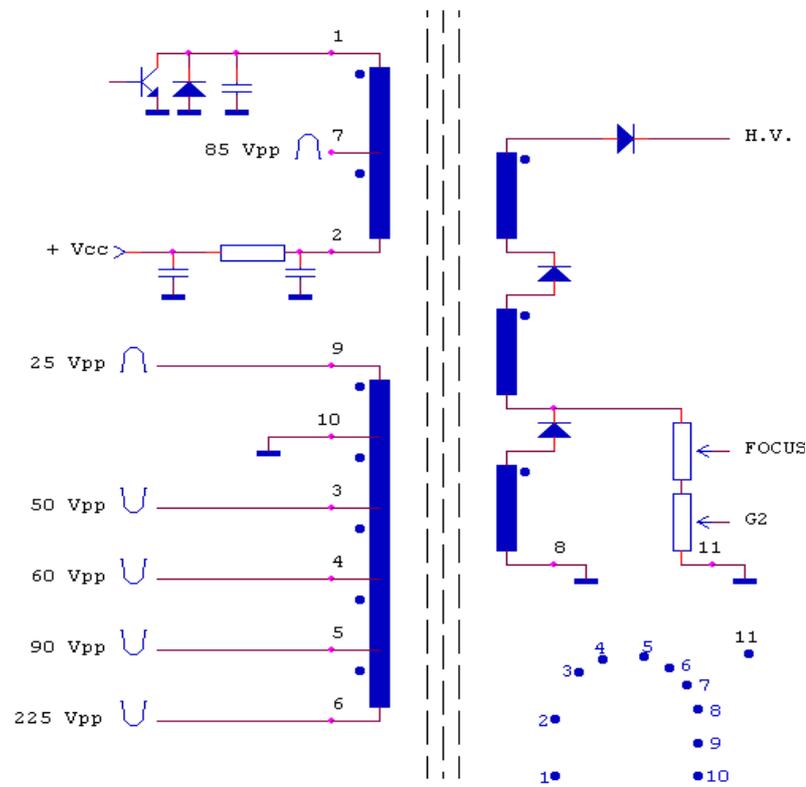
Fonte: Próprio Autor.

2.1 Gerador de Alta Tensão

Para o desenvolvimento do gerador de alta tensão, foi utilizado um transformador *flyback* obsoleto contido em monitor de computador ou televisão e um reator de lâmpada para fornecer uma pequena tensão alternada de entrada no primário desse *flyback* com o intuito de se obter uma alta tensão contínua de saída no secundário, baseando-se em uma construção demonstrada em passo a passo na plataforma Youtube [11].

O primeiro protótipo de gerador de alta tensão a ser testado é composto por 11 pinos nos quais uma tensão eficaz de 15 Volts (V), aproximadamente, foi aplicada nos pinos 1 e 2 conectados à saída do reator de lâmpada alimentado com 127 V pela rede elétrica. A pinagem deste transformador está representada na Figura 13.

Figura 13. Pinagem do transformador *flyback*.



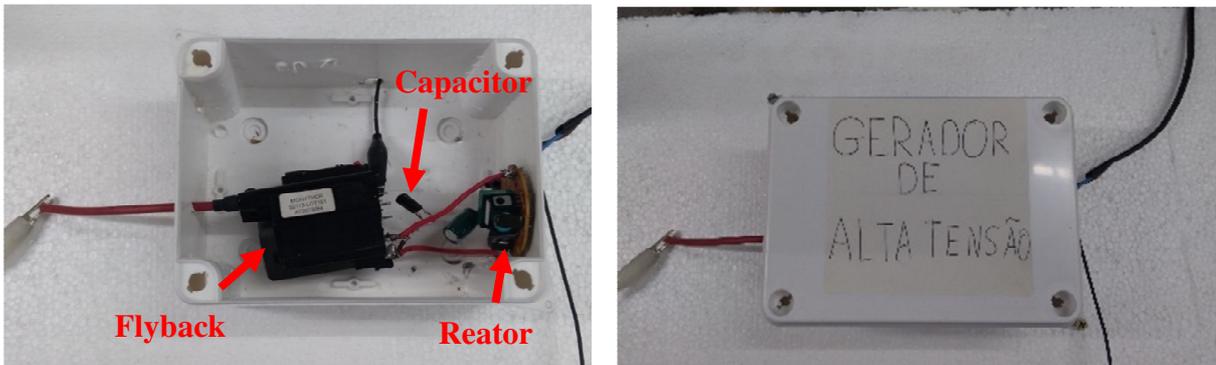
Fonte: <https://www.donberg.ie/>

Com o estabelecimento da fonte de tensão alternada nos pinos de entrada do transformador, precisava-se localizar seus pinos de saída. Baseando-se no tutorial do mesmo vídeo citado anteriormente da plataforma *Youtube* [11], pode-se notar que o cabo vermelho (intitulado de H.V [*High Voltage*]), que fica conectado diretamente ao tubo do monitor de televisão ou computador, representa a saída de alta tensão deste transformador. Já o pino 8, representa o comum ou referencial de tensão na saída do *flyback* [19]. Duas pontas de teste foram conectadas aos pinos de saída, aproximadas à uma distância muito pequena, cerca de 1 a 2 mm, e, ao ligar o reator na rede, foi formado um arco voltaico entre elas. Tal formação de arco voltaico foi decisiva para geração do arco deslizante explicada na introdução deste trabalho.

Após a formação de um arco voltaico a partir desse primeiro arranjo de gerador de alta tensão, foi montado um segundo arranjo contendo um capacitor de 5 nF em paralelo à entrada do *flyback*. Mediante isso, foram feitas medidas em relação à tensão de saída do *flyback* a partir de duas configurações diferentes feitas na entrada e serão analisadas mais adiante no Item 3.1.

Devido alguns contratemplos, foi necessário elaborar um segundo protótipo de gerador utilizando outro transformador *flyback* de televisão, com a mesma pinagem, juntamente com um reator de lâmpada com tensão eficaz de 9 V com capacitor na entrada análogo ao primeiro protótipo. O segundo protótipo foi colocado dentro de uma caixa de inspeção adaptada com furos nos quais as pontas de testes conectadas à saída do *flyback* e o cabo de alimentação do reator de lâmpada passaram. Tal conjunto foi utilizado para a formação do arco deslizante o qual foi responsável pela ionização do ar e, por decorrência, a ativação da água neste trabalho. Este segundo protótipo pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14. Segundo protótipo de gerador de alta tensão dentro de uma caixa de inspeção adaptada.



a) Gerador na caixa

b) Caixa fechada e intitulada

Fonte: Próprio Autor.

2.2 Ativação da Água

Nesta etapa do trabalho, necessitou-se utilizar dois recipientes com capacidades totais de 300 e 800 ml sendo que ambos foram acoplados em tubos de ensaio feito de vidro; dois eletrodos encurvados ou divergentes em si os quais são constituídos de cobre; e materiais para fixação e vedação de certas partes do reator de ativação da água.

A escolha do vidro como material do tubo de ensaio foi feita, pois a formação da descarga em arco, inicialmente térmico, faz com que a temperatura de um dos eletrodos de cobre conectado ao *flyback* aumente devido ao excessivo número de choques causados pelos elétrons direcionados pelo campo elétrico formado. Mesmo que o fluxo de ar gerado pela mini bomba compressora, com vazão de 3,2 L/min fornecida pelo fabricante, auxilie na dissipação

de energia térmica, ainda existe a possibilidade de ocorrer uma troca de calor excessiva com o recipiente e o tubo de ensaio, tendo assim o maior risco de derretimento do tubo caso ele seja feito de outro material com resistência térmica menor como o acrílico.

Mediante tal consideração, precisou-se providenciar brocas serra-copo diamantadas para a realização de furos nos quais serão encaixados cada componente da ativação da água. Os primeiros furos foram feitos no tubo de ensaio para colocação dos eletrodos e a mangueira de silicone acoplada na mini bomba compressora. A distância entre a mangueira e os eletrodos é muito pequena e ajustada empiricamente.

Para evitar o escoamento de água para fora do recipiente, foi observado a necessidade de usar materiais de vedação como fita veda rosca e cola epóxi na interface do tubo de ensaio e recipiente. Para encaixe dos eletrodos, foram feitos dois furos laterais ao tubo com diâmetro de 4 mm sendo que os fios rígidos de cobre (eletrodos) contêm a mesma dimensão, facilitando o encaixe e fixação deles no tubo. Nestes fios, foram enrolados com a fita veda rosca para adesão inicial e, em seguida, foi feita a colocação da cola epóxi que, além da sua alta resistência ao aquecimento dos eletrodos.

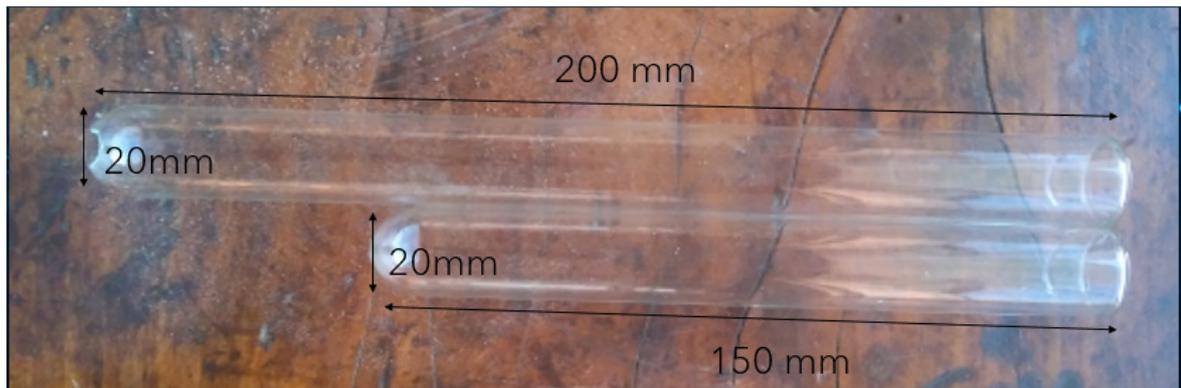
Visando manter uma distância menor ou igual a 2 mm entre os eletrodos, primeiro foi fixado um dos eletrodos como referencial para que, em seguida, pode-se encaixar e fixar o segundo à distância mínima do outro para a formação do arco térmico inicial. Tal ajuste, de distância mínima entre os eletrodos, precisou ser realizado empiricamente.

A fixação da mangueira, acoplada à mini bomba compressora, foi feita com o mesmo material usado nos eletrodos. Devido à dificuldade de fixação do tubo na posição vertical, houve bastante trepidação quando foi feito o furo na parte inferior do tubo de ensaio e, por isso, ocasionou um furo escareado. Tal efeito provocou um diâmetro maior do que 6 mm (Vide Apêndice A, Figura A-1) pretendido inicialmente, necessitando assim de uma quantidade maior do material veda rosca nesta parte.

Com a fixação dos eletrodos e mangueira feita, faltou realizar a adesão da interface do recipiente e o tubo de vidro. Os tubos de ensaio disponíveis tinham o diâmetro de 20 mm com a espessura de 1 mm tendo duas opções de comprimento: 150 mm e 200 mm como pode ser visto na Figura 15.

Por ter uma dimensão reduzida e facilidade de uso, optou-se por utilizar o tubo com 150 mm de comprimento, tendo uma certa otimização de espaço ocupado pelo reator.

Figura 15. Dimensões dos tubos de ensaios nos quais serão posicionados os eletrodos de cobre e mangueira de silicone.

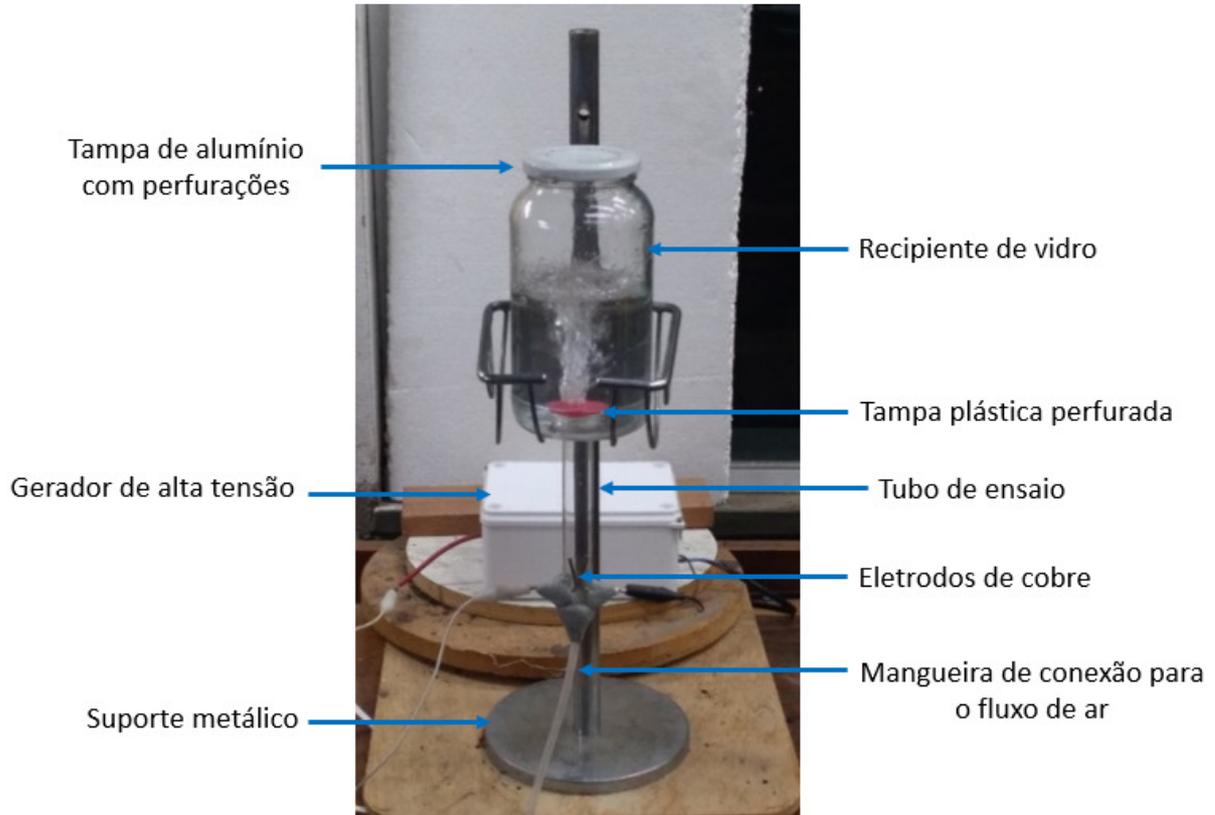


Fonte: Próprio Autor.

Para poder isolar o sistema interno ao tubo da água, foi necessário fixar uma tampa plástica sobre a abertura do tubo de ensaio, que pode ser visto no Apêndice A, Figura A-2. Nesta tampa, foram feitas 12 perfurações (Vide Apêndice A, Figura A-3) com auxílio de uma agulha de costura e, em seguida, a tampa foi fixada após aplicação de uma cola de secagem rápida na parte superior do tubo. Tal elaboração evitou que a água escoasse do recipiente para dentro do tubo enquanto o fluxo de ar, obtido pela mini bomba de aquário, estivesse sendo aplicado no sistema de ativação da água. Um dos reatores de ativação da água pode ser visto na Figura 16.

O posicionamento do tubo de ensaio abaixo do recipiente de vidro tem por objetivo observar se tal arranjo promoverá uma difusão maior dos íons pretendidos inicialmente dada interação da água com as bolhas formadas, por ação do ar bombeado pelo compressor, contendo o ar ionizado que provocará o processo de ativação da água.

Figura 16. Reator de ativação da água composto por um frasco de capacidade total de 800 ml.



Fonte: Próprio Autor.

Sabendo-se que parte das espécies reativas contidas nas bolhas colidiram com a tampa em cada recipiente citado, fez-se quatro furos nas tampas (Vide Apêndice A, Figura A-4) para que boa parte dessas espécies permaneça dentro do sistema semifechado. Tais furos foram feitos na tampa com intuito de aliviar a pressão interna do recipiente com água, evitando assim seu rompimento.

Cabe ressaltar que a divergência observada na forma curvada dos eletrodos foi feita para a geração do arco deslizante mediante o fluxo de ar que foi passado por eles.

A partir deste ponto, foram feitos os primeiros testes para iniciar a pretendida ativação da água por plasma frio, obtendo resultados que serão discutidos no Item 3.3.

O primeiro teste foi feito sem água para observar se o arco deslizante era formado dentro do tubo mediante o fluxo de ar aplicado nele. O segundo teste com água no qual teve por objetivo a formação de bolhas, que contém as tais espécies reativas de interesse, na água e verificar se o processo de ativação da água foi bem sucedido através de métodos de análise explicados a partir do Item 2.2.1.

2.2.1 Métodos de análise de pH da água

À medida com que a água sofre o processo de ativação, ocorre um aumento da concentração de certos íons como nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Dado aumento da concentração desses íons é acompanhado por uma elevação do nível de acidez da água de acordo com dados presentes na literatura [4], ou seja, o aumento da formação de íons H^+ na água. Por este motivo, realizou-se medidas de pH (potencial hidrogeniônico) da água em função do tempo de tratamento por plasma através de dois métodos: semiquantitativo e quantitativo. Os dados referentes os parâmetros de pH, condutividade, tempo de ativação e potencial de oxirredução em diferentes condições estão contidos no Anexo B, Tabela B-2.

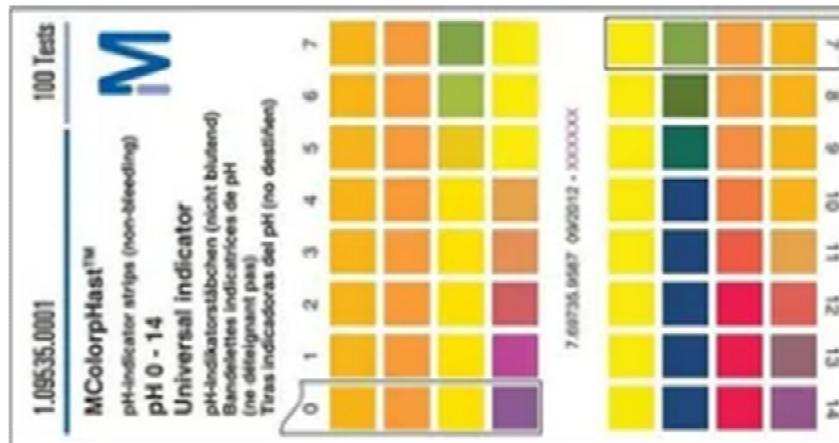
2.2.1.1 Método semiquantitativo

Um dos métodos para a verificação da ativação da água em função do tempo, foi feito através de fitas universais colorimétricas de pH, pois elas são capazes de apontar a escala de pH da água e outros líquidos, do ácido até o básico, devido a presença de um filtro de papel impregnado que pode conter desde um único indicador ou até uma mescla de indicadores em sua composição. Portanto, a fita apresenta uma sequência de quatro cores que indica o valor aproximado do pH. Por este motivo, tal método é considerado semiquantitativo, pois é aferido através de parâmetro qualitativo (mudança de cores da fita) e quantitativo (valor absoluto de pH). Tal sequência de cores está representada na Figura 17.

O valor absoluto de pH pode variar de 0 a 14. Quanto mais próximo ao 0, mais íons de hidrogênio serão formados na água, deixando-a ácida. Já quanto mais próxima de 14, indicará baixa concentração de íons de hidrogênio, portanto, deixa a solução mais alcalina [12].

Como a água da torneira apresentou pH entre 7 e 6 antes de ser tratada por plasma, foi possível determinar o período de transição do pH da faixa neutra para mais ácida conferindo a transição de cores para conferir o início do processo de ativação da água para rega.

Figura 17. Sequenciamento de cores para medição da transição do valor pH da água.



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/>

2.2.1.2 Método quantitativo

Para obter um valor mais quantitativo do processo de ativação da água, optou-se por utilizar um módulo de leitor de pH controlado pela plataforma Arduino. Seu funcionamento será explicado no Item 2.3.3.

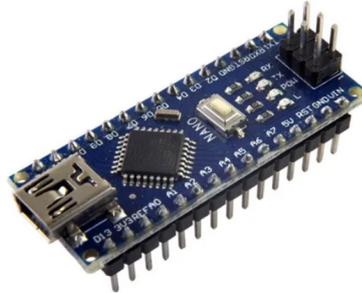
2.3 Sistema de Controle

Para ter um controle automatizado, implementou-se um microcontrolador da plataforma Arduino a este trabalho. Nesta plataforma, é possível encontrar algumas versões com finalidades específicas para cada tipo de automação. A versão Arduino UNO é a mais utilizada em trabalhos acadêmicos sendo composta por dois microcontroladores principais [20]. Existe também a versão NANO que é homóloga à UNO, entretanto, ela tem suas dimensões reduzidas, obtendo a facilidade de se encaixar em lugares pequenos e, por esta razão, optou-se por utilizar a versão do Arduino NANO neste trabalho a qual está retratada na Figura 18.

A placa de circuito do Arduino é composta, principalmente, por entradas analógicas as quais recebem informações externas que são interpretadas pelo microcontrolador mediante programação prévia para assim dar os respectivos comandos às saídas digitais. Quando o *sketch* (denominação dada ao programa do Arduino) é compilado, confirmando a sintaxe correta da

linguagem C/C++, ele pode ser carregado por comunicação USB para o *hardware* do Arduino o qual executará a programação em poucos instantes [20].

Figura 18. Arduino NANO



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/>

Para alimentação do Arduino NANO, deve-se usar uma fonte de tensão contínua com valores nominais na faixa de operação de 6 a 12 V / 0,8 a 1 A (unidade de corrente medida em Ampere “A”). Neste trabalho, foi utilizada uma fonte de tensão de 9 V / 1 A em que o terminal positivo é conectado no pino correspondente a VIN (tensão de entrada) e negativo, GND (tensão de referência). A identificação dos pinos está representada no Anexo A, Figura A-1.

Tal plataforma Arduino foi escolhida para gerenciar sincronismos de acionamento ou registro em cada etapa do processo realizado ao longo do tempo como:

- Tempo de iluminação
- Tempo de ativação da água
- Tempo de rega
- Registro de imagens do crescimento das plantas

Além do sincronismo de tempo, é possível realizar a leitura de dados como alterações de sinais elétricos captadas por um sensor ou leitor de pH ao longo do tempo.

A partir disso, o controle de tempo de iluminação no local de armazenamento e a leitura de dados do sensor de pH foram feitos neste trabalho.

2.3.1 Controle de tempo

No começo da programação, foi pensado em utilizar os comandos “*millis()*” e “*delay()*” do próprio Arduino para contagem de tempo. Todavia, observou-se que dada a possibilidade de queda súbita de energia elétrica, a programação do Arduino iria reiniciar tais comandos, voltando ao início da programação logo após a volta da energia e, com isso, quebrando o sincronismo de tempo. Por este motivo, a solução foi escolher um dos tipos de módulo de relógio de tempo real chamado RTC (*Real Time Clock*). A partir deste módulo externo, foi possível programar desde o ano vigente até, com certa precisão, os segundos, além da contagem dos dias da semana como sábado e domingo.

Mediante essa necessidade, foi encontrado dois tipos de módulos RTC: DS1307 e DS3231.

A semelhança básica entre eles é que podem continuar contando o tempo mesmo com a falta de energia elétrica. Tal função é possível graças à alimentação reserva fornecida por uma bateria de lítio de 3 V externa a qual mantém o módulo em funcionamento e parando de alimentar o circuito do módulo quando ocorre o restabelecimento da energia.

As diferenças principais observadas entre os dois módulos estão na maior precisão de tempo contida pelo segundo módulo citado acima e a presença de sensor de temperatura embutido o qual poderá ser ideal para registro de temperatura no ambiente caso necessário. Já o primeiro módulo tem a vantagem de obter um pino de saída que possibilita a visualização do nível de tensão contida na bateria. Como objetivo é controle preciso de tempo, o segundo módulo atende as necessidades básicas do projeto e está representado na Figura 19.

Figura 19. Módulo RTC DS3231



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/>

2.3.2 Controle de corrente

O acionamento de alguns equipamentos do projeto pode ser feito com ligações diretas nas saídas digitais contidas no Arduino, mas outros equipamentos não podem ser ligados diretamente. Tal condição é imposta já que as saídas digitais do Arduino fornecem no máximo 40 mA [20]. Dada limitação, foi necessário utilizar um módulo de relê, representado na Figura 20, para o acionamento dos equipamentos de média potência como o gerador de alta tensão, as lâmpadas e a mini bomba compressora de ar, pois em suas entradas passam correntes relativamente altas as quais farão com que as saídas do Arduino queimem caso não estejam protegidas por módulo de chaveamento e controle de corrente.

Figura 20. Módulo de Relê.



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/>.

2.3.3 Leitor de pH da água

Para obter alguma medida quantitativa do processo de ativação da água, foi necessário encontrar algum medidor digital de pH. Por este motivo, optou-se por utilizar um módulo leitor de pH e o eletrodo de medição estão sendo representados no Anexo A, Figura A-2.

Dado conjunto é composto por um módulo e um eletrodo inerte para leitura do pH. O módulo contém dois potenciômetros os quais têm a função de calibração e ajuste para acionamento de uma carga externa. É possível observar que há cinco pinos neste módulo: dois deles são para a alimentação de 5 V (VCC e GND); dois de saída para encaminhamento de

dados como valores de pH e temperatura; e um pino, chamado de P0, é utilizado para recebimento dos dados de valores pH em uma entrada analógica do Arduino NANO.

Os valores de pH foram coletados e transmitidos para uma planilha do Excel através de uma macro chamada de PLX-DAQ [21] a qual estabelece uma comunicação com a porta serial do Arduino NANO e transfere os dados para a planilha escolhida.

Após a tentativa de calibração do módulo com o eletrodo inerte, foram feitas medidas de pH durante o processo de ativação da água. Tais valores de pH foram medidos em função do tempo de ativação no formato de gráfico o qual será demonstrado mais adiante no Item 3.3.2.

2.3.4 Programação e visualização de parâmetros

A partir do microcontrolador da plataforma Arduino e seus módulos externos, foi possível desenvolver uma lógica de programação para o acionamento e desligamento de lâmpadas fluorescentes que participaram do processo de crescimento das plantas, além de realizar uma leitura de dados captadas por sensor de pH.

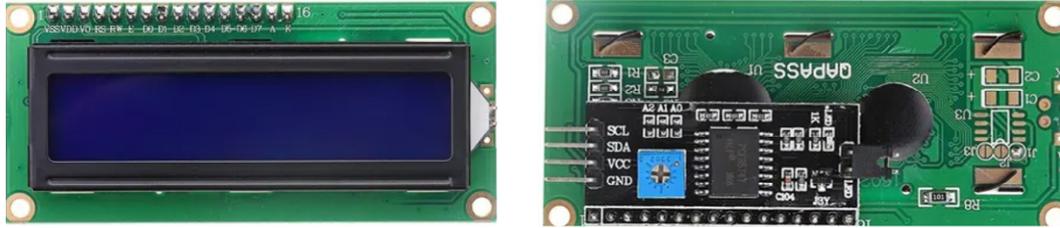
O código fonte da primeira parte da programação baseou-se em um projeto que consiste em reproduzir um relógio em tempo real, mostrando parâmetros como dia, mês e ano em um *display* de LCD [14]. A partir desse código, foram desenvolvidas as linhas da programação para controlar o tempo de iluminação com 10 horas de duração, iniciando às 13h e encerrando às 23 h como é mostrado na programação exibida no Apêndice B, Código B-1. Avaliou-se deixar disponível o uso do parâmetro de temperatura nas linhas de códigos acrescentando uma biblioteca correspondente ao módulo RTC 3231.

O código fonte da segunda parte foi feito mediante a leitura de tensão convertida em valor de pH. As linhas de código estão disponíveis no Apêndice B, Código B-2 permitem a interpretação de informações do módulo PH 4502C o qual sofre alteração de tensão devido a mudança de pH.

Para a visualização do tempo de iluminação das plantas, utiliza-se um *display* de cristal líquido (LCD “*Liquid Crystal Display*”) 16X2 com um módulo I2C embutido os quais estão sendo representados na Figura 21.

Com o módulo I2C, a comunicação serial com o arduino, o *display* e o módulo RTC 3231 é melhorada, além de possibilitar o ajuste de contraste e a luz de fundo (*backlight*). Com auxílio deste *display*, foi possível obter a visualização de parâmetros temporais úteis para a confirmação do período de iluminação das plantas.

Figura 21. *Display* de LCD com o módulo I2C embutido atrás.



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/>

2.4 Sistemas de Plantio Experimentais

No início deste estudo, optou-se por realizar o tratamento das sementes de alpiste para avaliar as condições iniciais de desenvolvimento delas em dado sistema sem controle em vasos de pequeno porte. Visando-se a praticidade, este tipo de planta foi escolhido devido ao seu período curto de brotamento e, por isso, foi possível a obtenção dos brotos na fase de germinação dessa planta após poucos dias. Em seguida, as sementes de feijão-de-vagem e cebolinha-verde foram plantadas em vasos de médio porte os quais foram alocados em um sistema parcialmente controlado e podendo ter assim uma melhor coleta de dados. Uma terra preta sem adição de matéria orgânica foi escolhida para evitar a influência desta variável no processo de crescimentos das plantas.

O tratamento da água por plasma frio para a rega do grupo correspondente ao alpiste fez uso o recipiente de volume total menor, citado anteriormente, para ativar 250 ml de água e, dos grupos de feijão-de-vagem e cebolinha-verde, recipiente maior para tratar 450 ml de água. Dado processo de rega das plantas foi realizado diariamente e a água que sobrava era descartada ao final de cada ciclo de irrigação.

2.4.1 Sem controle

Os vasos que continham as sementes de alpiste foram colocados sobre uma bancada de madeira a qual tem proximidade com uma janela, podem assim ter a exposição à luz e calor do sol por período sazonal, caracterizando um sistema sem controle em relação a estes parâmetros naturais. A escolha desse local é justificada dado o risco de queda dos vasos devido às eventuais correntes de ar de alta velocidade caso fossem colocados sobre o beiral da janela,

além de resguardá-los da irrigação involuntária por ação da chuva. Tais ocorrências prejudicariam os resultados deste estudo.

2.4.1.1 Alpiste

As primeiras sementes a serem testadas foram de alpiste devidamente separadas em quatro grupos de dois vasos cada. O primeiro grupo de sementes foi plantado em vasos brancos nos quais receberam os seguintes rótulos: Ativação e Controle. Neste grupo, parte das sementes foram mergulhadas em água ativada (120 minutos de ativação) e, outra parte, normal (Controle) por um período de 24 horas e, em seguida, foram plantadas em seus respectivos vasos rotulados. Já no segundo grupo, as sementes não tiveram tal preparativo inicial e os vasos utilizados tinham a coloração preta, mas receberam uma rotulação análoga (Ativação e Controle) diferenciados pela cor no aspecto visual em relação aos vasos do primeiro grupo. Tais grupos amostrais estão representados na Figura 22 e, alguns parâmetros medidos com um paquímetro analógico, na Tabela 1.

Figura 22. Primeiro e segundo grupos amostrais de alpiste em seus respectivos vasos rotulados.



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 1. Alguns parâmetros pertencentes aos grupos amostrais 1 e 2 de alpiste.

	Altura do vaso (cm)	Diâmetro superior do vaso (cm)	Preparativo das sementes
1º Grupo (Vasos Brancos)	9	7	✓
2º Grupo (Vasos Pretos)	7,5	8	✗

Fonte: Próprio Autor.

Cabe ressaltar que a terra preta foi acomodada até atingir cerca de 5,5 cm em relação a base dos vasos destes grupos, sendo que as sementes foram plantadas a 1,5 cm da superfície da terra. Tais medidas foram feitas através de uma régua.

O volume de água foi de 50 ml para irrigar cada vaso e aferido por duas seringas, sendo que uma foi utilizada para água ativada e a outra, normal. Tal instrumento de dosagem está representado na Figura 23. A água de rega para as sementes presentes nos vasos com o rótulo “Ativação” foi exposta ao plasma frio por 120 minutos.

Figura 23. Seringas de 50ml rotuladas.



Fonte: Próprio Autor.

Tendo passado os primeiros 10 dias do início do experimento, outros dois grupos amostrais de alpiste foram preparados. No terceiro grupo, as sementes tiveram um preparativo análogo ao do primeiro grupo, e, no quarto grupo, semelhante ao segundo. A diferença deu-se pelo aumento do tempo de ativação por mais 60 minutos dos 150 ml de água restante no recipiente totalizando 180 minutos de processo, sendo mantido apenas o volume de água de rega. Os vasos utilizados para acomodar a terra e sementes foram todos homólogos ao segundo grupo amostral, sendo que as sementes também foram plantadas à 1,5 cm da superfície da terra, entretanto, a terra colocada chegou ao nível de 6,5 cm em relação à base do vaso. Estes grupos estão representados na Figura 24.

Figura 24. Terceiro e quarto grupos amostrais de alpiste e seus respectivos vasos rotulados.



Fonte: Próprio Autor.

Com a adição destes grupos ao experimento, foi possível fazer as análises do desenvolvimento do alpiste as quais serão discutidas mais adiante.

Por ter uma massa muito pequena, não foi possível medir a quantidade de sementes por peso. Por isso, optou-se por estimar a quantidade de sementes em porções tendo uma tampa de garrafa plástica como referência volumétrica.

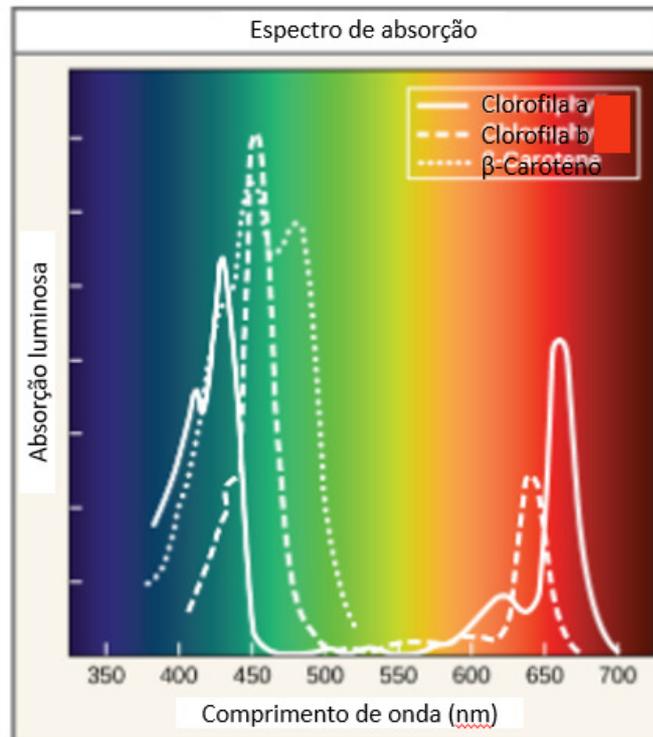
2.4.2 Controle parcial

Visando o aprimoramento de análise, foram elaborados mais dois grupos amostrais (cebolinha-verde e feijão-de-vagem) os quais foram colocados em um ambiente com o controle da iluminação e de certa quantidade de calor.

Mediante dados presentes na literatura, a presença de pigmentos como clorofilas do tipo “a” e “b”; e carotenoides que absorvem a luz e são responsáveis pelo desenvolvimento da fotossíntese (produção de energia feita pela planta através da luz do sol) dependem do fornecimento de certas faixas de comprimento de onda em um espectro de absorção luminosa satisfatório para estes tais pigmentos [13]. No gráfico do espectro de absorção, contido na Figura 25, pode-se obter a informação das faixas de comprimento de onda que mais são absorvidas pelos pigmentos citados anteriormente.

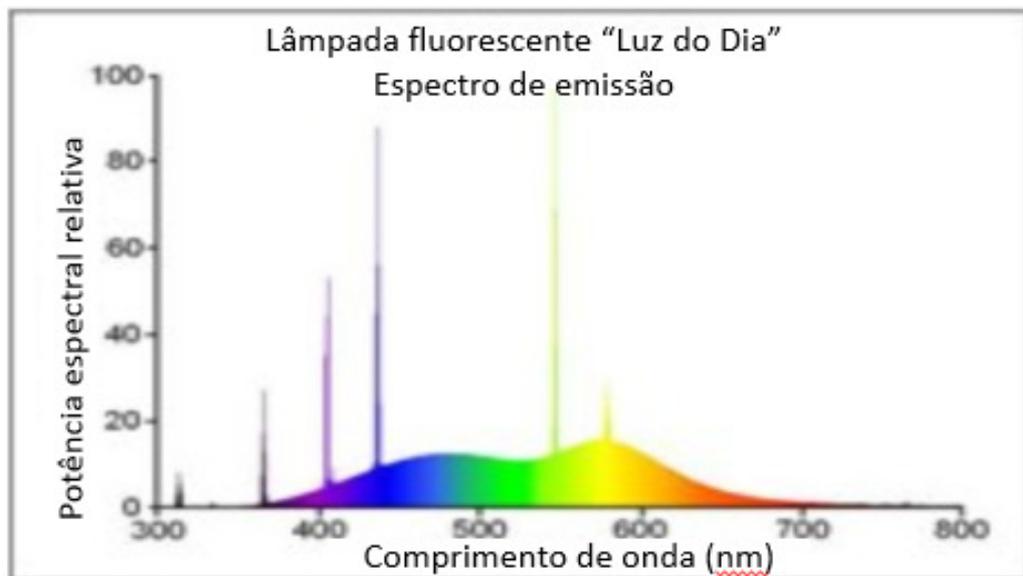
Pode-se notar que os pigmentos presentes nas plantas têm o maior grau de absorção luminosa nas faixas correspondentes aos comprimentos entre 400 nm e 500 nm; e 600 nm e 700 nm. Por este motivo, optou-se por utilizar lâmpadas fluorescentes intituladas como “Luz do Dia”, pois elas podem fornecer alto grau de emissão luminosa nos comprimentos de 400 a 500 nm (Figura 26) que correspondem a primeira faixa do espectro luminoso com maior grau de absorção luminosa pelas plantas.

Figura 25. Gráfico de absorção luminosa de cada pigmento em função do comprimento de onda da luz.



Fonte: [https://cnx.org/contents.\[13\]](https://cnx.org/contents.[13])

Figura 26. Espectro de emissão visível característico da lâmpada fluorescente chamada de “Luz do Dia”.



Fonte: <http://www.lamptech.co.uk/>

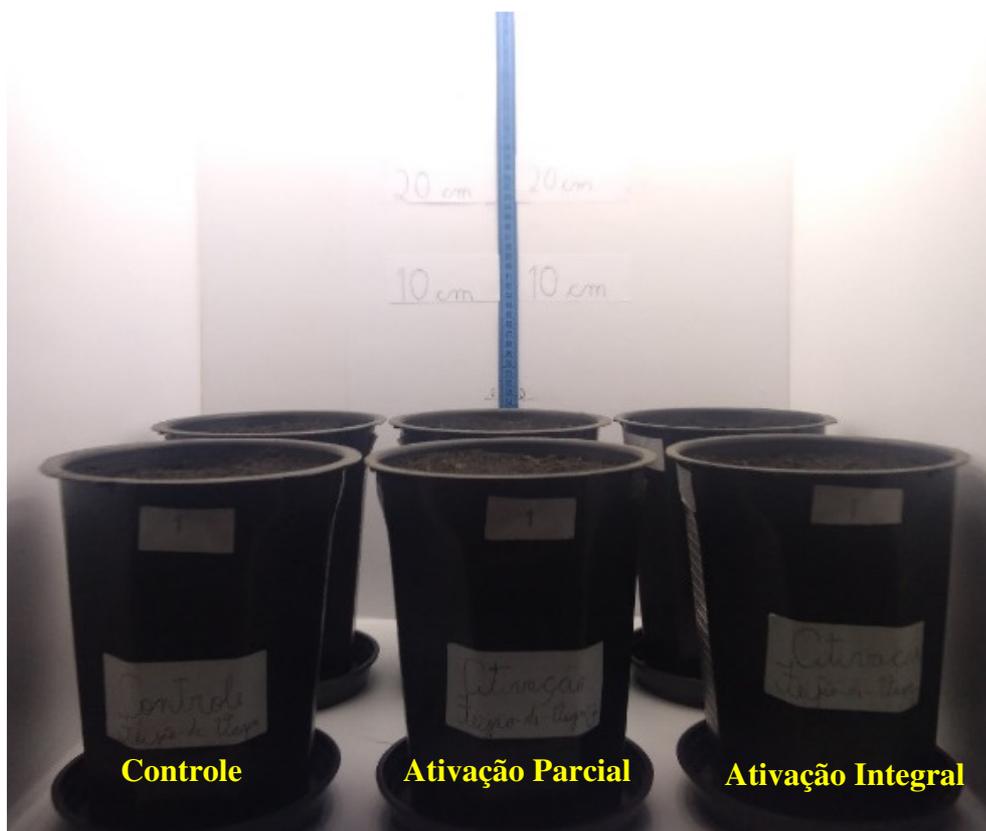
No âmbito da temperatura, o princípio de funcionamento das lâmpadas fluorescentes baseia-se na descarga luminescente do gás metálico no interior do tubo mediante a presença de

uma alta diferença de potencial elétrico. Além disso, ocorre uma emissão de elétrons por efeito termiônico devido ao aquecimento dos elétrons realizado pelo reator de partida. Por este motivo, pode-se obter um sistema de aquecimento na faixa de temperatura entre 16°C à 30°C para o ambiente no período em que as lâmpadas ficarem ligadas.

2.4.2.1 Cebolinha-verde e feijão-de-vagem

Os grupos amostrais correspondentes às sementes de cebolinha-verde e feijão-de-vagem foram separados em seis vasos. Tais vasos (contendo 22 cm e 16,5 cm de altura e diâmetro superior respectivamente) foram identificados para três condições de tratamento da água de rega: controle, ativação parcial. A disposição dos vasos dentro do sistema parcialmente controlado está sendo mostrado na Figura 27.

Figura 27. Vista dos vasos contendo sementes de feijão-de-vagem em primeiro plano (três vasos na frente) e cebolinha-verde, segundo plano (três vasos ao fundo).



Fonte: Próprio Autor.

A primeira condição citada corresponde aos vasos que foram regados diariamente com água sem ativação, a segunda, água com ativação até certo período de germinação e a terceira, com ativação por período integral de desenvolvimento da planta. O volume de água usado para cada irrigação foi de 100 ml.

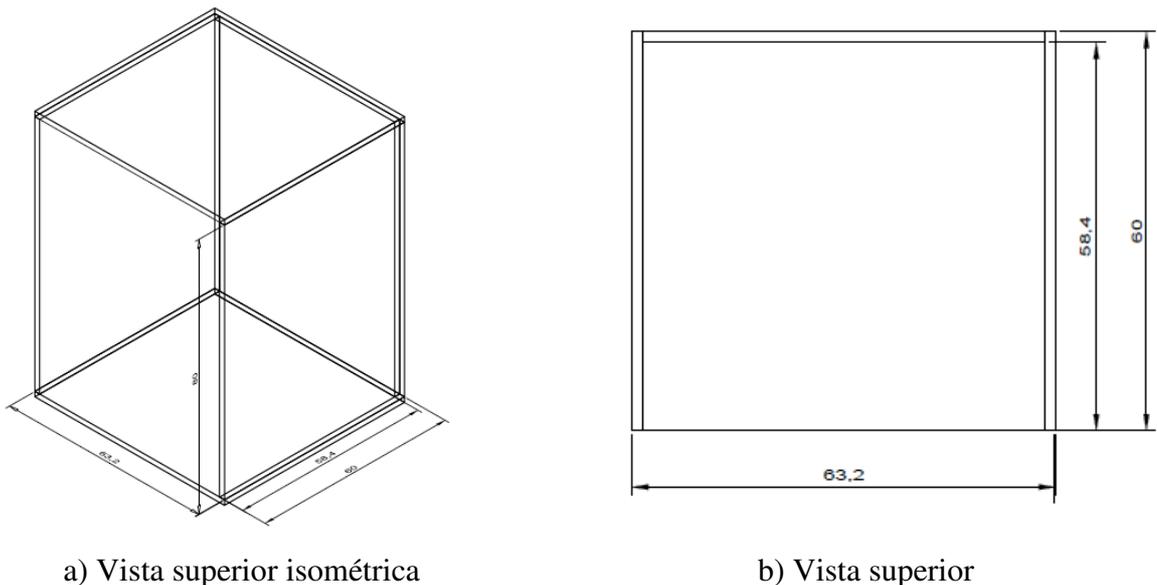
No grupo do feijão-de-vagem, foi colocada apenas uma semente no centro da terra de cada vaso à 4 cm de profundidade, seguindo recomendações presentes na embalagem do produtor, pois suas raízes ocupam muito espaço. Tais sementes foram mergulhadas em água, em condições de tratamento correspondentes a cada vaso, por um período de 24 horas antes de serem plantadas. Para os grupos de ativação, a água foi ativada por 210 minutos tanto para o preparativo inicial quanto para a rega das sementes.

No grupo da cebolinha-verde, as sementes receberam o mesmo preparativo inicial e com a mesma forma de irrigação citados anteriormente, mas foram plantadas em três trincheiras feitas na terra de cada vaso. Tais trincheiras tinham cerca de 1 cm de profundidade.

2.4.2.2 Local de armazenamento

Para poder realizar o estudo com ambiente luminoso mais controlado, foi construído um local de armazenamento no qual as plantas pudessem se desenvolver melhor. Dado local tem um formato de um caixote retangular aberto na parte frontal e contendo 60 cm de largura e comprimento; e 80 cm de altura. Tal arranjo pode ser visto na Figura 28.

Figura 28. Vistas do local de armazenamento e suas dimensões feitas no Autocad.



Fonte: Próprio Autor.

A construção, deste local de armazenamento, foi feita utilizando madeira do tipo compensada com 1,6 cm de espessura.

No intuito de deixar o ambiente interno ao caixote bem iluminado, foi necessário realizar a colocação de um papel de parede da cor branca para refletir melhor a luz emitida pelas três lâmpadas fluorescente citadas anteriormente. Estas lâmpadas foram colocadas no teto do caixote e ficaram separadas simetricamente para gerar uma melhor distribuição de luz. Como os tubos das lâmpadas têm 60 cm de comprimento, foi necessário fazer três furos na parede do fundo para poder realizar a conexão dos eletrodos com os reatores e acomodá-las adequadamente na caixa.

Para manter tal ambiente o mais arejado possível, alguns furos foram feitos no meio e fundo da base do caixote e, para ter o efeito esperado, quatro pés de madeira (3 cm de altura) foram fixados nas extremidades.

Como o ambiente interno bem iluminado e arejado, precisou-se garantir que nenhuma luz externa interferisse no sistema parcialmente controlado, tanto de origem solar quanto de lâmpadas do ambiente externo. Para isso, uma cobertura verde foi fixada na parte superior e do caixote com grampos de pressão. Com o objetivo de facilitar a maneira com que se iria abrir e fechar a parte frontal do caixote, as laterais da cobertura tiveram que receber alguns pedaços de fita fixadora do tipo fecho de contato (velcro) com comprimento de 10 cm e largura de 1,6 cm que foram dispostas com espaçamento de 10 cm entre elas. Tal disposição permitiu com que o ambiente interno ficasse escuro no período em que as lâmpadas internas estiveram desligadas e arejado dado o espaçamento entre as fitas de contato.

Ainda com a necessidade de se realizar o registro diário da evolução das plantas, foi elaborado um sistema de suporte (Vide Apêndice C, Figura C-1) no qual a câmera foi colocada. O registro foi feito em pares de plantas sendo que uma delas era o vaso do grupo de controle e outro ativação parcial ou integral.

Uma fita métrica foi fixada no meio da parede do fundo em ordem decrescente com o auxílio de uma fita dupla face para comparar as alturas das plantas ao longo do tempo. O vaso correspondente ao grupo de controle era colocado à esquerda da fita métrica e ao grupo de ativação, à direita. Como os números graduados presentes na fita ficaram incompreensíveis por dada distância da câmera em relação aos vasos e, por isso, optou-se por fixar rótulos em patamares com números maiores com o espaçamento de 10 cm entre eles para ter uma melhor nitidez em relação à medida de altura das plantas no registro diário.

Após ter colocado o suporte para câmera e a fita métrica, os vasos que continham as sementes de feijão-de-vagem e cebolinha-verde foram dispostos da seguinte maneira: o grupo

relativo ao feijão-de-vagem foi colocado em primeiro plano com 8,5 cm e 3,5 cm de distância em relação a borda frontal do caixote e entre os vasos respectivamente; e o grupo da cebolinha-verde posto em segundo plano com 8,5 cm e 6,5 cm de distância em relação ao grupo do feijão-de-vagem e a parede do fundo respectivamente.

Com a definição de posicionamento dos grupos de vasos, foi iniciado o processo de rega desses grupos amostrais. A vistas interna e externa do local de armazenamento pode ser visualizada na Figura 29.

Figura 29. Vistas interna e externa do local de armazenamento.



a) Vista interna



b) Vista externa

Fonte: Próprio Autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

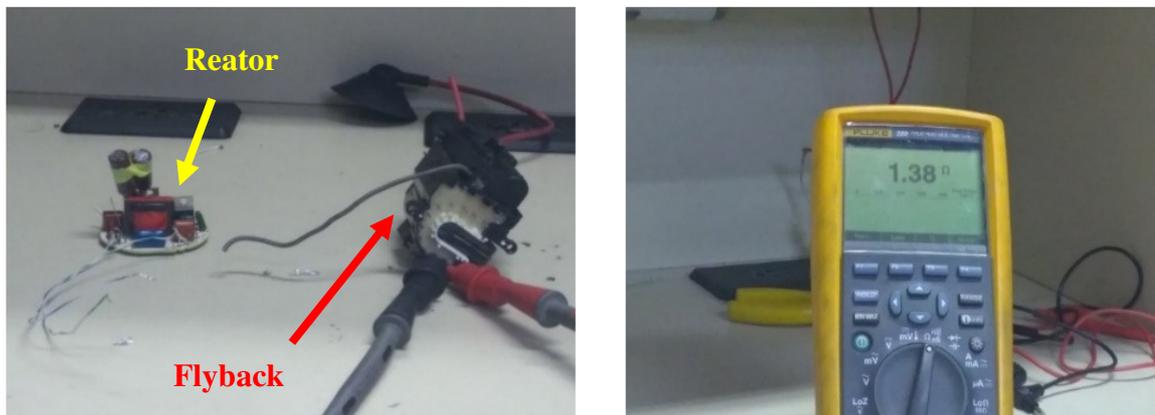
3.1 Gerador de Alta Tensão

Nesta parte, será feita a análise elétrica para verificação dos pinos de entrada (primário) do transformador *flyback* e a curva de alta tensão obtida no secundário.

3.1.1 Análise elétrica da entrada do *flyback*

Para confirmar os pinos do primário, utilizou-se um multímetro digital para medir a resistência de cada par de pinos até achar o par que fornecesse o valor de $1\ \Omega$ (Ohm), aproximadamente, como está indicado na Figura 30.

Figura 30. Confirmação dos pinos de entrada no transformador *flyback*.



Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 30, pode-se observar que o multímetro digital indicou o valor de $1,38\ \Omega$, caracterizando o par de pinos 1 e 2 como o primário do transformador, já que os demais pares deram valores bem acima de $5\ \Omega$. Tal valor baixo de resistência nos pinos 1 e 2 aproximou-se do resultado visto ($1\ \Omega$) no tutorial em vídeo [11].

Para tensão de entrada, foi observado também que o reator de lâmpada deve conter uma tensão alternada maior que $9\ \text{V}$ e menor que $30\ \text{V}$, pois, fora deste intervalo, o arco voltaico não é formado ou ocorria fuga de tensão interna pelo *flyback*.

3.1.1.1 Análise elétrica na saída do flyback

Para avaliar a eficiência do gerador de alta tensão, as curvas de tensão em função da frequência do primeiro protótipo foram obtidas por meio de um osciloscópio com o auxílio de pontas de prova que são capazes de medir diferenças de potencial elétricos de até 10 kV.

Com o intuito de aprimoramento, foram feitos dois arranjos no gerador de alta tensão: o primeiro não contém um capacitor de 5 nF conectado aos pinos de entrada do transformador *flyback* e o segundo, contém. Este capacitor foi retirado do reator de lâmpada o qual estava em um circuito aberto o qual não apresentava uma função eficaz para o circuito do reator. A seguir, as curvas de tensão em função do tempo estão representadas na Figura 31.

Para uma melhor visualização das curvas obtidas, foi efetuada a opção de parada “*Stop*”, conseguindo assim medir os valores relativos à frequência de trabalho, tensão eficaz e de pico a pico de saída do transformador *flyback* em ambos os arranjos, utilizando as pontas de prova conectadas ao canal 1 do osciloscópio disfarçando flutuações de parâmetros devido a ruídos existentes.

No primeiro arranjo, a curva foi atenuada cerca de 525 vezes e, por tal motivo, os valores experimentais de tensão eficaz e pico a pico obtidos foram de 2,34 kV e 1,89 kV na escala 1:1 respectivamente e com frequência igual 45,86 kHz. Já no segundo arranjo, a curva não sofreu ganho ou atenuação, medindo assim valores de tensão eficaz e pico a pico de 2,76 kV e 2,80 kV respectivamente e com frequência de 22,02 kHz.

Portanto, as diferenças entre as frequências e tensões eficaz obtidas podem ser justificadas devido ao aumento do tempo de carregamento e descarregamento do capacitor de 5 nF presente no segundo arranjo, diminuindo o valor da frequência e aumentando o nível de tensão DC (“*Direct Current*” ou Corrente Contínua) no secundário do gerador de alta tensão. Dadas curvas aferidas assemelham-se com dados obtidos na literatura [18].

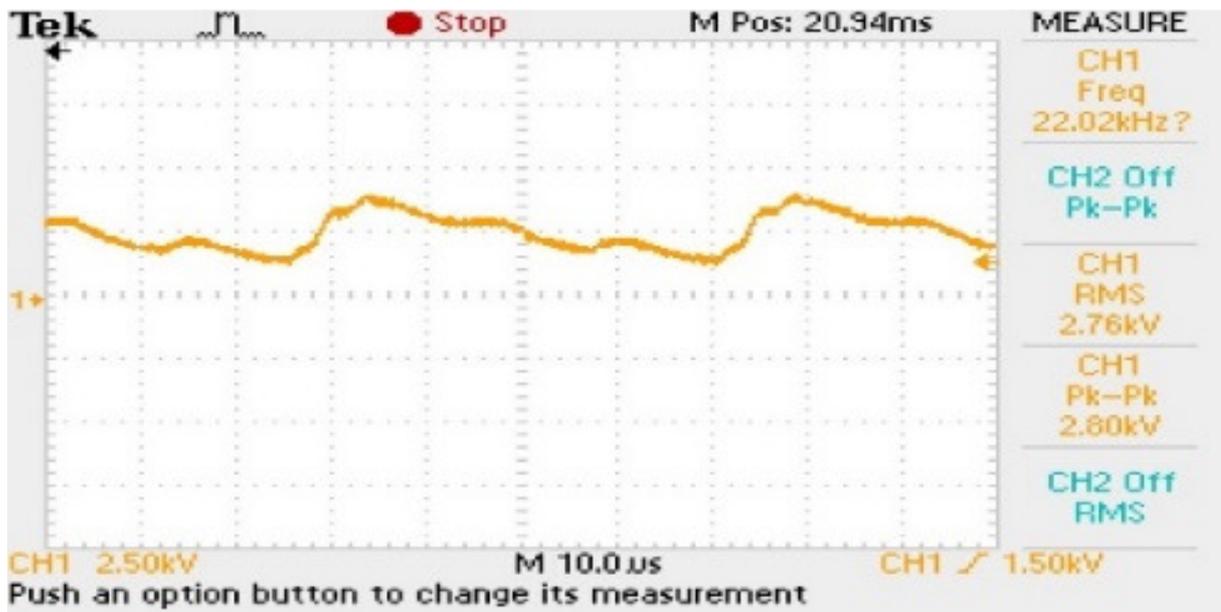
3.2 Protótipo de Arco Deslizante

A partir da construção do segundo protótipo de gerador de alta tensão, foi possível gerar o plasma do tipo arco deslizante em um protótipo antes de construir o reator de ativação da água por completo. Tal protótipo pode visto na Figura 32.

Figura 31. Curvas de tensão por tempo nos diferentes arranjos.



a) Primeiro arranjo (Sem capacitor de 5 nF).



b) Segundo arranjo (Com capacitor de 5 nF).

Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 32, é possível visualizar as possíveis regiões de arco térmico correspondente ao início da ruptura do ar que é característica do regime térmico (plasma quente); e, ao final do processo de ionização do ar, o arco não térmico (plasma frio). A separação entre os regimes de operação do plasma pode ser comparada com o arranjo feito na Figura 7 na qual observa-se que o regime não-térmico possui um comprimento maior em relação à transição de regime e arco

térmico inicialmente. Para formar tal descarga em arco, o plasma quente é formado entre 1 a 2 mm e tal faixa de comprimento correspondente ao distanciamento mínimo entre os eletrodos divergentes de cobre encaixado ao tubo de ensaio.

Figura 32. Protótipo de arco deslizante mediante fluxo de ar à pressão atmosférica dentro do tubo de ensaio.



Fonte: Próprio Autor.

3.3 Ativação da Água

3.3.1 Medidas semiquantitativas do pH

Foram feitos testes para medir a eficiência do processo de ativação através de fitas colorimétricas da água utilizada para rega dos grupos de alpiste, cebolinha-verde e feijão-de-vagem.

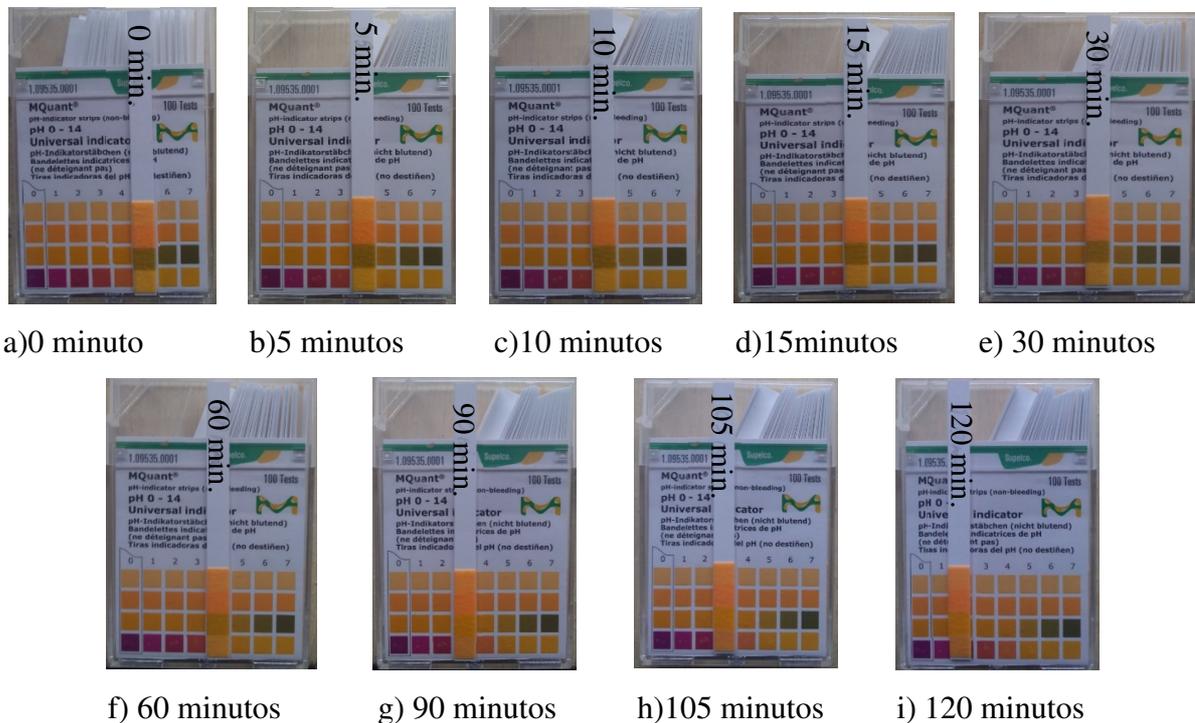
3.3.1.1 Alpiste

Para os primeiros dois grupos de alpiste foi feito a rega com água normal e ativada. Nesta última condição, 250 ml de água receberam o tratamento por plasma frio em duas etapas. Na primeira etapa, dado volume de água foi ativado por 120 minutos e, após ter retirado 100

ml e ter regado os dois vasos correspondentes à ativação com 50ml cada, os 150 ml de água restante foram ativados por mais 60 minutos, totalizando assim 180 minutos do processo de ativação da água.

Tais tempos de ativação foram escolhidos mediante os testes de pH, apresentados nas Figuras 33 e 34, que comprovaram a transição de pH de neutro para ácido a partir de certo período do processo de ativação o qual será analisado a seguir.

Figura 33. Testes de pH a partir da referência (0 minuto) até 120 minutos de ativação da água para rega do alpiste.



Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 33, é possível notar que as duas primeiras camadas de cores (de cima para baixo) não sofreram alterações nas diferentes fitas colorimétricas de pH utilizadas à medida que o tempo de ativação da água aumentava. Portanto, a caracterização de pH e, indiretamente, da ativação da água está sendo feita através da observação de alteração do padrão de cores das duas últimas camadas.

Mediante isso, foi observado que, nos primeiros 30 minutos, não houve alterações significativas nas cores das camadas citadas anteriormente, dado que elas apresentam coloração correspondente aos valores de pH entre 7 e 6. Dada aproximação corresponde ao pH neutro ou levemente ácido. Esta constatação comprova que este período de ativação não foi o suficiente

para iniciar o processo de ativação da água, precisando de mais tempo de processo feito a partir do arranjo experimental apresentado na Figura 12.

Por tal motivo, o processo de ativação continuou sendo avaliado para tempos maiores. Ao atingir 60 minutos, pode-se visualizar uma mudança na terceira camada (de cima para baixo) para uma cor semelhante ou próxima ao padrão pertencente ao pH 5. Com esta diminuição do pH, foi possível considerar que houve o início do processo de ativação da água caracterizado pelo aumento dos íons de interesse como nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) de acordo com a literatura [4]. Entre 60 e 90 minutos de tratamento, notou-se que houve uma alteração significativa nas duas últimas camadas da fita colorimétrica, indicando assim um decréscimo do pH para valores entre 5 e 4. E, transcorridos os 105 minutos e 120 minutos, percebeu-se que não houve uma modificação expressiva de cor da última camada, indicando a permanência na faixa de valores de pH 5 e 4.

Ao finalizar a primeira etapa de ativação, foram coletados mais dados sobre o pH por mais 60 minutos correspondente a segunda etapa do processo de ativação da água neste trabalho. E, ao retirar 100 ml do recipiente, obteve-se os seguintes resultados:

Figura 34. Testes de pH de 125 a 180 minutos de ativação de 150 ml água restantes para rega do alpiste



a)125 minutos b)130 minutos c)135 minutos d)150 minutos e)180 minutos

Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 34, é possível que não tenha ocorrido uma alteração significativa do padrão de cores com o passar do tempo de ativação. Entretanto, optou-se por utilizar parte desta água tratada para a rega dos grupos 3 e 4, já que dadas fitas de pH fornecem uma medida semiquantitativa do processo e não oferece maior exatidão de valores intermediários de pH e, portanto, poderia ter ocorrido certa alteração significativa na água nos 60 minutos a mais de

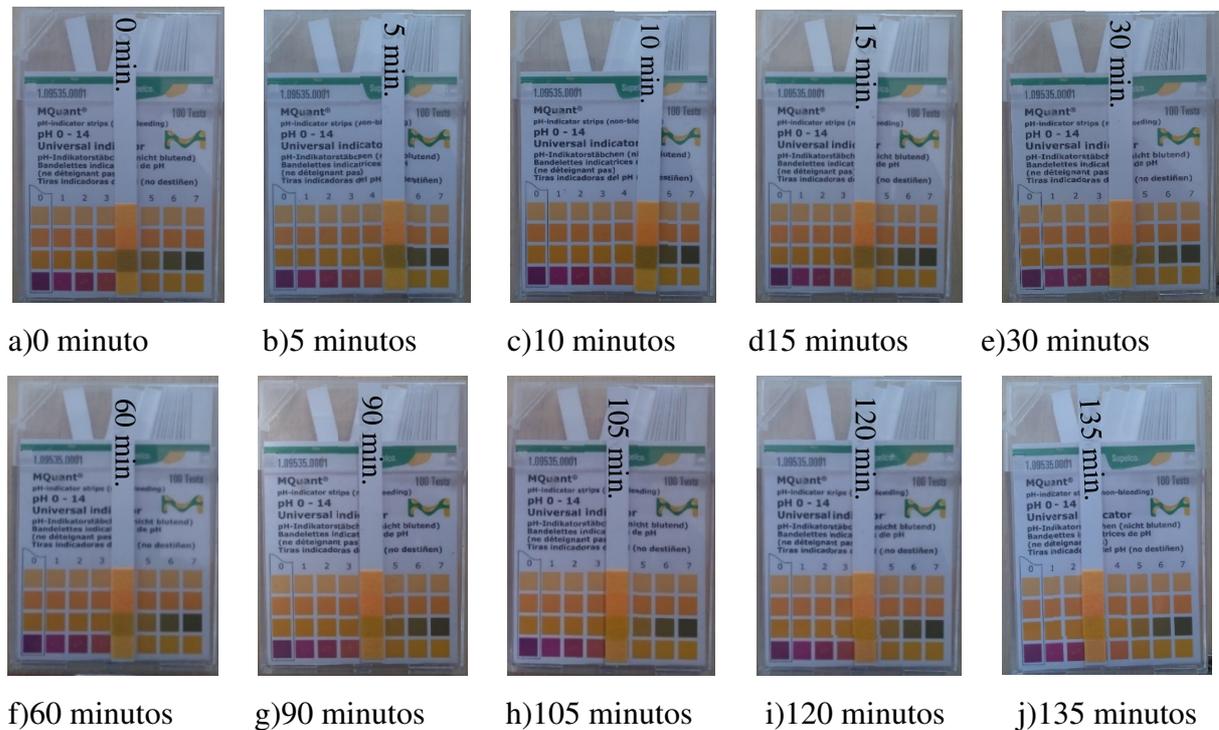
tratamento e, por consequência, podendo causar efeitos de diferenciação nos crescimentos dos últimos grupos amostrais de alpiste citados no Item 2.4.1.

Dado que as avaliações das medidas semiquantitativas do pH da água em função do tempo para rega dos grupos de alpiste já foram feitas, as análises desse mesmo método de medida do pH da água de irrigação foram realizadas também para os outros grupos amostrais deste trabalho.

3.3.1.2 Feijão-de-vagem e cebolinha-verde

Para os grupos de feijão-de-vagem e cebolinha, utilizou-se vasos de médio porte para poder acomodar bem as raízes dessas plantas. Como tais raízes são mais volumosas, optou-se por aumentar a quantidade de água de rega para 100 ml para cada vaso. Para isto, optou-se por ativar 450 ml de água sendo analisado o tempo necessário para estabelecer tal processo. Portanto, foram feitas medidas de pH da água e tais resultados estão representados nas Figuras 35 e 36.

Figura 35. Testes de pH da referência até 135 minutos de ativação da água de rega do feijão-de-vagem e cebolinha-verde.

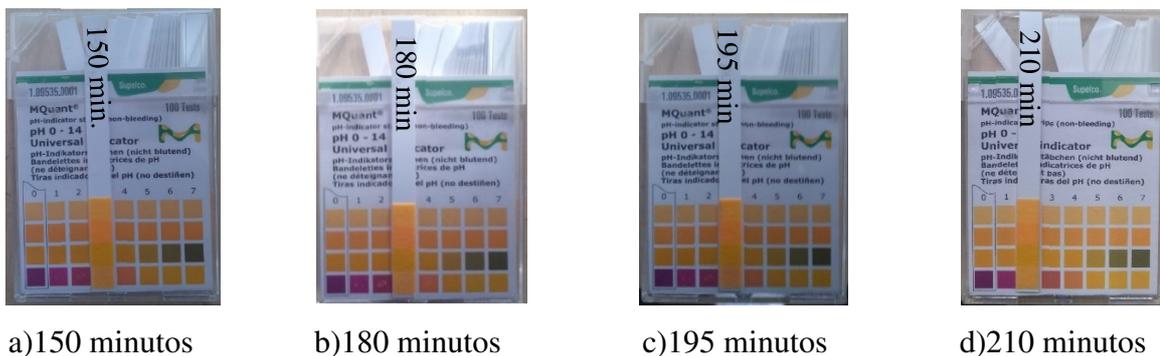


Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 35, pode-se notar que não houve alteração de cores nos primeiros 30 minutos para ativação de 450 ml de água, gerando um resultado similar ao anterior no qual foi ativada 250 ml e caracterizando assim um pH aproximadamente neutro da faixa de valores entre 7 e 6. A partir de 60 minutos, ocorreu uma mudança significativa das cores e indicando uma transição do valor de pH levemente ácido podendo corresponder a faixa de 6 a 5.

Transcorridos 90 minutos de processo, observou-se uma modificação do padrão de cores acentuada, indicando uma diminuição do pH para 5, aproximadamente, que pode ser justificado pelo aumento significativo da concentração de íons de interesse na água. A partir dos 105 minutos de ativação, o padrão de cores começa a sofrer uma alteração significativa que pode indicar mudança do valor de pH para a faixa 5 a 4. Tal padrão é mantido após terem passados 105 e 135 minutos de processo e, portanto, pode indicar um valor estável de pH neste intervalo de tempo de ativação da água.

Figura 36. Testes de pH de 150 até 210 minutos de ativação da água de rega do feijão-de-vagem e cebolinha-verde.



Fonte: Próprio Autor.

Passados 150 minutos de tratamento, a água de rega tendeu a permanecer na faixa de valor de pH entre 5 e 4, dado que a última cor da fita colorimétrica não obteve uma alteração significativa.

Ao atingir 195 e 210 minutos do processo de ativação da água, pode-se observar que a última cor da fita de pH torna-se levemente mais escura em comparação as medidas dos tempos anteriores, caracterizando um aumento dos íons citados, anteriormente, dado a queda do valor de pH que pode corresponder ao padrão pertencente ao pH 4 aproximadamente.

3.3.2 Medidas quantitativas do pH

Para obtenção de duas variáveis quantitativas do processo de ativação da água como obtenção do valor de pH diretamente em função do tempo, foram testadas amostras de 25 ml contendo água em diferentes períodos de tratamento. Dada decisão por utilizar doses pequenas de água ativada nas amostras foi tomada, pois a leitura de tensão através do eletrodo inerte era comprometida devida à distância reduzida dele em relação ao gerador de alta tensão e arco deslizante dado que ambos geram uma variação do campo elétrico ao seu redor o que interfere diretamente no processamento de dados (diferença de potencial elétrico) relacionados com o pH da água captados pelo eletrodo inerte e interpretados pelo módulo PH 4502C juntamente com o Arduino.

Por dado obstáculo, as amostras de água foram testadas longe do gerador de alta tensão em diferentes tempos de ativação os quais foram análogos aos testes realizados com a fita colorimétrica de pH e demonstrados no Item 3.3.1. Cabe ressaltar que as amostras de água, recolhidas com auxílio de uma seringa, foram depositadas em copos plásticos descartáveis individuais para cada período analisado. Após a aquisição dos dados, a água era devolvida para o reator de ativação à cada ciclo de tempo para manter o parâmetro de volume do processo de ativação.

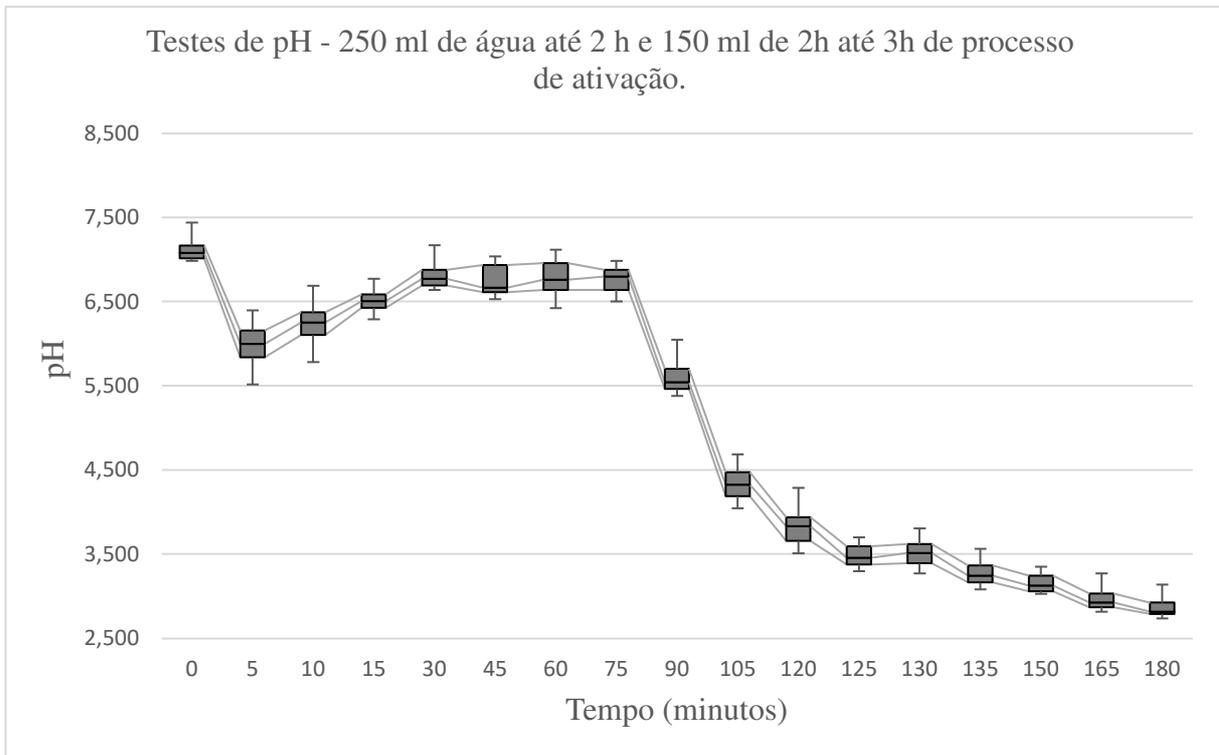
Devido à dificuldade para a calibração do módulo PH 4502C juntamente com o eletrodo inerte, os valores absolutos de pH das amostras podem apresentar um caráter duvidoso no âmbito da exatidão e, por isso, deu-se prioridade em avaliar a variação de pH, ao decorrer do tempo, utilizando uma ferramenta estatística descritiva intitulada de diagrama de caixa ou *boxplot* o qual baseia-se nos valores da mediana e o intervalo interquartil dos dados coletados para análise gráfica. A seguir, será feita a análise dos dados relativos as medidas quantitativas de pH presentes nos gráficos das Figuras 37 e 38 para os diferentes grupos amostrais de plantas. Os dados numéricos como média, desvio padrão, mediana, os quartis e entre outros parâmetros estão no Apêndice A, Tabelas A-1 e A-2.

3.3.2.1 Alpiste

Com uma série de 60 medidas (controle pelo Arduino) para cada amostra em períodos progressivos de ativação, foram plotados os dados das medições de pH em dois gráficos do tipo

boxplot. O primeiro gráfico é referente aos testes de pH de 250 ml de água e está representado na Figura 37.

Figura 37. Gráfico de diagrama de caixa contendo a variação de pH de água de rega do alpiste.



Fonte: Próprio Autor.

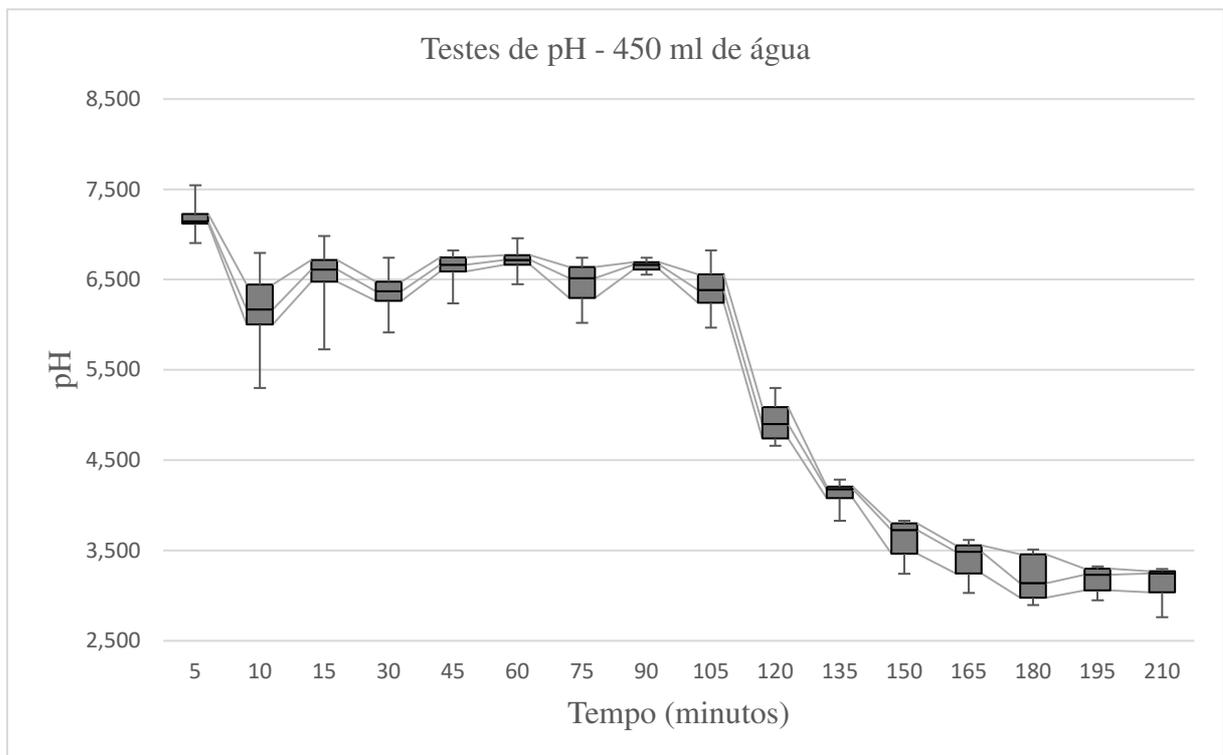
Os valores absolutos correspondentes aos blocos iniciais apresentaram uma certa flutuação e estabilizou apenas após 30 minutos de análise. Dada flutuação pode ser atribuída aos problemas de calibração do módulo sensor de pH inicialmente. Contudo, pode-se observar que o pH começou a decrescer de forma exponencial a partir de 75 minutos, podendo indicar o início do processo de ativação da água semelhante aos resultados obtidos com a medição por fita colorimétrica. Com isso, pode-se aferir uma variação de 3 do pH, aproximadamente, durante o processo de ativação entre 75 minutos e 120 minutos e variação de aproximadamente 4, após 180 minutos. Cabe lembrar que tal quantidade de água analisada serviu de rega para os grupos amostrais de alpiste neste trabalho.

Com essa parte da análise concluída, os dados referentes aos testes de pH realizados em amostras correspondentes à água de rega dos grupos de cebolinha-verde e feijão-de-vagem serão analisados a seguir.

3.3.2.2 Feijão-de-vagem e cebolinha-verde

Com o processo de medidas análogo ao anterior, foram obtidos valores de pH das amostras relativas à 450 ml de água em certos períodos de ativação com um tempo de exposição total de 210 minutos ao plasma frio e suas espécies reativas primárias geradas. Tais valores foram plotados no gráfico presente na Figura 38.

Figura 38. Gráfico de diagrama de caixa contendo a variação de pH de água de rega do feijão-de-vagem e cebolinha-verde.



Fonte: Próprio Autor.

Análogo ao processo de medidas realizado com 250 ml de água, pode-se observar que houve uma flutuação nos primeiros 75 minutos de análise do pH da amostra de 450 ml de água, caracterizando uma falha na calibração inicial. Todavia, foi possível notar um decréscimo significativo do valor de pH a partir dos 90 minutos de processo, atingindo uma variação de 3,5 do pH, aproximadamente, após 210 minutos de análise. Esta variação de pH foi coerente comparando com o resultado da análise anterior, pois houve um aumento de 200 ml de água e, com isso, a taxa de inserção das espécies reativas e suas concentrações tendem a ser menores, mesmo tendo 30 minutos a mais de exposição ao plasma frio.

A partir desses resultados, é possível avaliar que, os parâmetros de tensão eficaz equivalente a 2,76 kV fornecido pelo gerador de alta tensão, o fluxo ou vazão de ar, 3,2 L/min, mini bomba e posicionamento dos eletrodos na parte inferior ao recipiente neste trabalho quando são comparados com os parâmetros presentes em periódico como 12 kV de tensão máxima, fluxo de gás, 28 L/min e os eletrodos posicionados na parte superior ao recipiente [15], apresenta uma certa coerência da taxa de decrescimento do pH ao longo do tempo ter sido menor no processo de ativação da água deste trabalho em relação à literatura.

Cabe ressaltar que a vazão de ar pode ter sido prejudicada dado que os pequenos furos feitos na tampa plástica, pode ter limitado o fluxo das espécies reativas primárias até a interface com a água e, conseqüentemente, afetando a taxa de difusão dessas espécies.

3.4 Análise Comparativa do Crescimento das Plantas

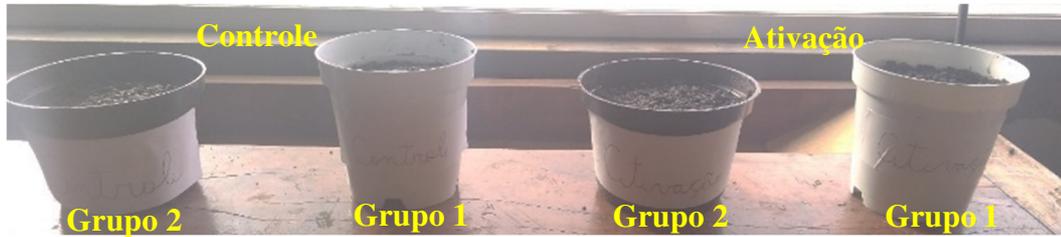
Esta parte do trabalho consiste em analisar o registro das fotos que foi feito diariamente e comparar as evoluções de crescimento dos diferentes grupos amostrais em diferentes sistemas de plantio ao decorrer do tempo.

3.4.1 Alpiste

Em um sistema sem controle, as análises tiveram início na comparação dos diferentes grupos de alpiste. Os vasos dos grupos 1 e 2 foram analisados primeiro sendo separados em Ativação e Controle dos vasos de cores diferenciadas; e, em seguida, serão avaliados os efeitos presentes nos grupos 3 e 4. As comparações serão feitas em pares de vasos em diferentes dias na ordem crescente.

Cabe ressaltar que o dia no qual as sementes foram plantadas foi denominado como “Dia 0” dado que a primeira rega ainda não tinha sido realizada. Os primeiros dias de desenvolvimento destes grupos estão representados na Figura 39.

Figura 39. Grupos 1 e 2 sendo representados nos dias 0 e 4 de desenvolvimento.



a)Dia 0



b)Dia 4

Fonte: Próprio Autor.

É possível verificar o início da fase de germinação do alpiste em todos os grupos de vasos nos primeiros de estudo. No entanto, a germinação do alpiste foi mais acentuada nos vasos contendo sementes regadas com água ativada por plasma frio em relação as sementes que foram irrigadas com água normal sem dado tratamento.

Ainda é possível notar que, os brotos de alpiste germinados no vaso branco, com a rotulação “Ativação” e correspondente ao grupo 1, tiveram uma maior taxa de germinação em relação aos brotos crescidos no vaso de rotulação análoga ao grupo 2. Dado fator pode ser justificado devido ao preparativo feito nas sementes do grupo 1 no qual consistiu em mergulhá-las em água, que era correspondente à rotulação de seus vasos, por 24 horas antes de serem plantadas.

Tal fator de germinação foi mais acentuado em sementes do vaso intitulado Ativação no grupo 1, pois é possível que haja influência de íons como radicais hidroxilas, peróxido de hidrogênio e oxigênio atômico [4] presentes nesta água utilizada para mergulhá-las. Estes íons citados podem estimular a quebra do período de dormência das sementes e, de acordo com a literatura [4], gerando assim um aumento na taxa de germinação observada na Figura 39 - b. A seguir, será mostrado a evolução do alpiste após 20 e 40 dias de estudo na Figura 40.

Figura 40. Grupos 1 e 2 sendo representados nos dias 20 e 40 de desenvolvimento.



a)Dia 20



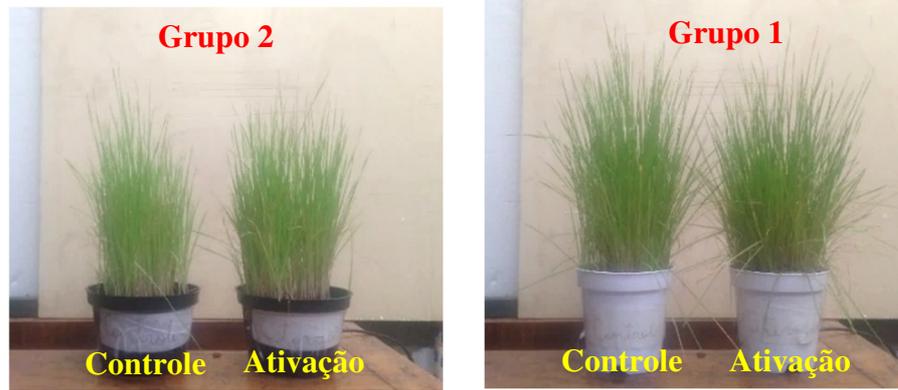
b)Dia 40

Fonte: Próprio Autor.

Após 20 dias de desenvolvimento, é possível observar que o aumento da densidade da vegetação ainda permanece vigoroso nos vasos regados com água ativada em relação ao controle. Entretanto, o aumento significativo na altura da vegetação, observado nos vasos de controle, gerou uma discrepância após 40 dias de crescimento destes grupos amostrais de alpiste. A seguir, será feita a análise das imagens que contêm tais grupos 1 e 2 as quais foram tiradas nos dias 50 e 70 de desenvolvimento como mostrado na Figura 41.

Pode-se notar que a discrepância na evolução das plantas em relação ao aumento de altura da vegetação no vaso “Controle” em relação ao “Ativação” em ambos os grupos com 50 dias de desenvolvimento completados. Entretanto, a discrepância em relação às alturas foi atenuada, dado que a vegetação começou a apresentar uma taxa de crescimento menor do vaso regado com água normal em comparação com a rega ativada depois de 70 dias de evolução.

Figura 41. Grupos 1 e 2 sendo representados nos dias 50 e 70 de desenvolvimento.



a)Dia 50



b)Dia 70

Fonte: Próprio Autor.

Todavia, é possível notar que a cor da vegetação permaneceu um pouco mais verde em vasos de ativação do que nos vasos de controle, com destaque para os ramos do vaso “Ativação” do grupo 2 com 70 dias de desenvolvimento, além de conter menos ramos secos o que pode atribuir um fator de mais vigor e resistência das plantas regadas com água ativada em todos os grupos amostrais neste período de estudo. Esta última característica de secura da vegetação também pode estar atrelada pelo fato das dimensões reduzidas dos vasos, gerando assim uma limitação de espaço para o crescimento eficaz das raízes do alpiste e isto pode ter ocasionado uma deficiência de absorção de nutrientes e água à níveis aceitáveis para um desenvolvimento pleno. No quesito crescimento, as variações de alturas foram pouco significativas comparando-se a vegetação contidas nos vasos “Controle” e “Ativação”.

Depois de 10 dias em relação ao início do plantio dos grupos 1 e 2, foram plantadas as sementes de alpiste correspondentes aos grupos 3 e 4 sendo regadas com água ativada por mais tempo como foi descrito no Item 2.4.2. O registro dos primeiros dias de desenvolvimento dos últimos grupos amostrais de alpiste está representado na Figura 42.

Figura 42. Grupos 3 e 4 sendo representados nos dias 0 e 4 de desenvolvimento do alpiste.



a)Dia 0



b)Dia 4

Fonte: Próprio Autor.

No início do plantio, foi observado uma taxa de germinação alta da vegetação pertencente ao vaso intitulado “Ativação” em relação ao controle correspondente ao grupo 3. Já nos vasos do grupo 4, tal taxa permaneceu estável. Este efeito de aumento na taxa de germinação pode ser justificado devido ao preparativo inicial feito nas sementes do grupo 3, tendo um destaque no vaso que recebeu rega de água ativada. Como explicado anteriormente, o aumento da taxa da germinação pode ser consequência da inserção das espécies reativas presentes na água ativada por plasma.

Tendo analisado esse período de germinação inicial do alpiste, serão mostrados mais resultados relativos ao desenvolvimento destes grupos presentes na Figura 43.

Com 20 dias de desenvolvimento, foi possível notar que a taxa de crescimento vertical se manteve alta nos vasos de ativação em relação ao controle. Contudo, pode-se perceber que houve um aumento significativo na densidade da vegetação nos vasos de controle em ambos os grupos, tendo destaque para o alpiste crescido no grupo 3. Passando-se 30 dias, dado crescimento vertical teve um acréscimo significativo nos vasos que recebem água ativada em

comparação com o controle, mesmo ocorrendo uma discrepância de densidade entre as amostras do grupo 3. O desenvolvimento em dias avançados de análise para tais grupos na Figura 44.

Figura 43. Grupos 3 e 4 sendo representados nos dias 20 e 30 de desenvolvimento do alpiste.



a)Dia 20



b)Dia 30

Fonte: Próprio Autor

Após 40 dias de observação, foi possível notar que a vegetação apresentou uma equiparidade em relação as alturas de alpiste em todos os grupos amostrais presentes na Figura 44-a. A partir de 60 dias de observação, ocorreu um efeito de diferenciação nas alturas, tendo maiores taxas de crescimento do alpiste regado com água ativada em relação à água sem tratamento.

Com isto, a evolução do alpiste apresentou diferenças mais significativas nos grupos 3 e 4 em comparação com os grupos 1 e 2 em um sistema de plantio sem controle dos parâmetros de período de iluminação e temperatura, entre outros fatores climáticos como ventos fortes. Tal

efeito de diferenciação pode ser justificado devido ao maior tempo de exposição do volume de 150 ml de água restante da primeira rega ao plasma frio, dado que parte desta água serviu de rega para o alpiste dentro dos vasos intitulados “Ativação” nos grupos 3 e 4.

Figura 44. Grupos 3 e 4 sendo representados nos dias 40 e 60 de desenvolvimento do alpiste.



a) Dia 40



b) Dia 60

Fonte: Próprio Autor

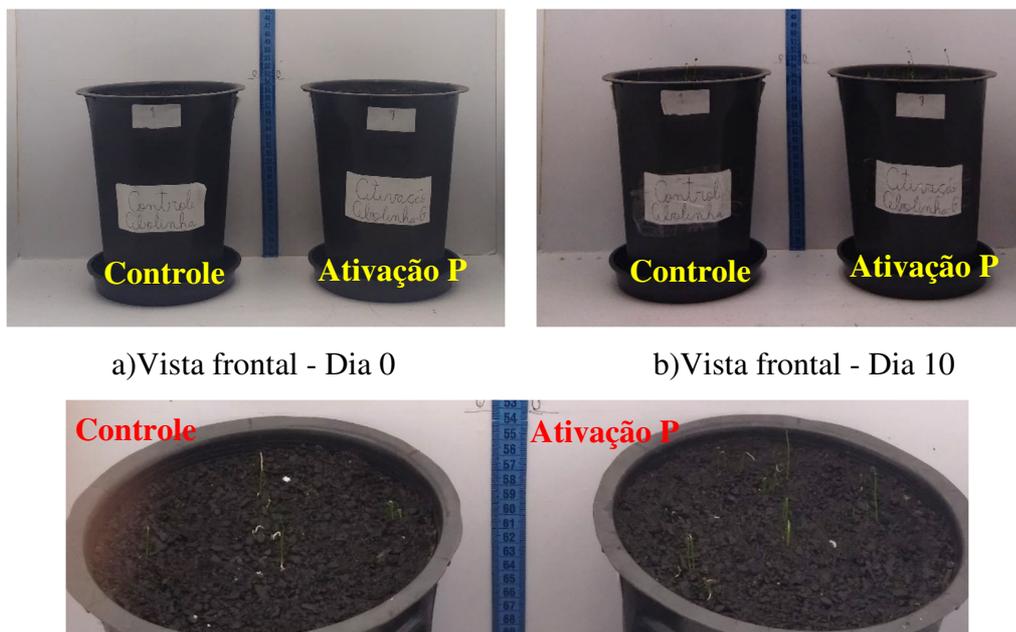
A seguir, o crescimento progressivo dos grupos de plantas como cebolinha-verde e feijão-de-vagem será analisado dentro de um sistema parcialmente controlado.

3.4.2 Cebolinha-verde

Nesta parte do trabalho, coube realizar a análise da evolução do crescimento de sementes de cebolinha-verde em três diferentes grupos de rega sendo que um deles foi irrigado com água normal no vaso intitulado “Controle” e os demais com rega ativada em vasos nomeados “Ativação”. No grupo de ativação, uma das amostras foi irrigada com água ativada por 15 dias e, após este período parcial, foi regada com água normal e a outra amostra, com água ativada por período integral de desenvolvimento.

Mediante isso, a evolução das plantas contidas nos grupos foi analisada em pares. O primeiro par a ser analisado foi o grupo de controle e ativação parcial. Os primeiros 10 dias de desenvolvimento podem ser vistos na Figura 45.

Figura 45. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação parcial nos dias 0 e 10 do desenvolvimento da cebolinha-verde.



a) Vista frontal - Dia 0

b) Vista frontal - Dia 10

c) Vista superior frontal - Dia 10

Fonte: Próprio Autor.

Nos primeiros dias de desenvolvimento, foi possível notar uma alta taxa de germinação das sementes de cebolinha-verde que foram regadas com 100 ml de água ativada após 210 minutos de exposição ao plasma. Na vista superior frontal, percebeu-se que houve uma densidade maior de ramos da cebolinha-verde no vaso intitulado “Ativação P” em relação ao

controle que foi regado com água normal. Tal efeito de diferenciação inicial pode ser explicado devido à possível inserção de espécies reativas primárias do plasma que, em seguida, formaram as espécies reativas secundárias, como íons nitrito e nitrato, na água o que favorece o processo de fertilização do solo. Na Figura 46, serão mostrados os resultados obtidos nos dias 20 e 30 de desenvolvimento da cebolinha-verde

Figura 46. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação parcial nos dias 20 e 30 de desenvolvimento da cebolinha-verde.



a) Vista frontal - Dia 20

b) Vista frontal - Dia 30



c) Vista superior frontal - Dia 20



d) Vista superior frontal - Dia 30

Fonte: Próprio Autor.

É possível perceber que houve um aumento significativo dos ramos de cebolinha-verde no vaso “Ativação P” em comparação com o controle dado 20 dias de observação do desenvolvimento deste tipo de planta. Após 30 dias de desenvolvimento, ocorreu uma certa mortalidade dos ramos de cebolinha-verde no vaso de controle, mantendo-se apenas alguns

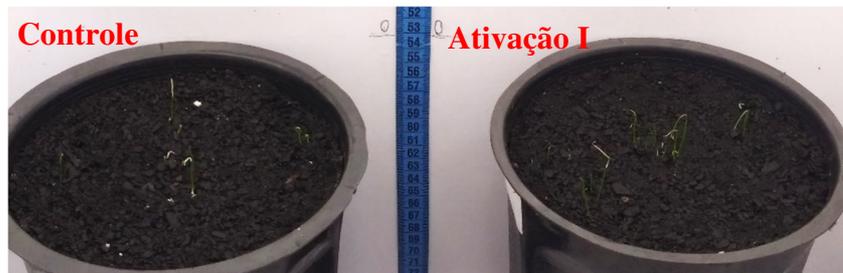
ramos centrais. Dada mortalidade pode ser considerada um efeito colateral na experiência e será discutida novamente no próximo par de cebolinha-verde a partir das Figuras 47 e 48.

Figura 47. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação integral nos dias 0 e 10 de desenvolvimento da cebolinha-verde.



a) Vista frontal – Dia 0

b) Vista frontal - Dia 10



c) Vista superior frontal - Dia 10

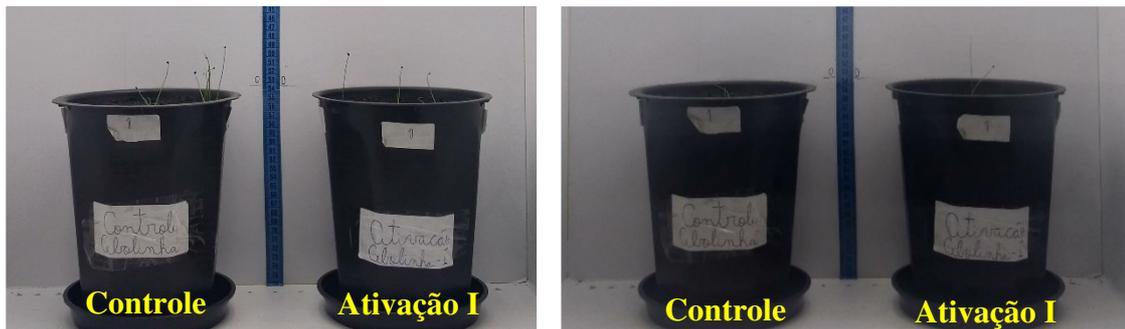
Fonte: Próprio Autor.

Nos dias iniciais de desenvolvimento, pode-se observar que a taxa de germinação se manteve alta no vaso regado com água ativada em relação ao controle, além de apresentar uma alta densidade de ramos. Entretanto, é possível notar que alguns ramos centrais de cebolinha-verde tiveram aumento significativo em suas alturas no vaso regado com água normal em comparação ao que recebeu água ativada, gerando uma discrepância nesta fase de desenvolvimento. A seguir, serão mostrados os últimos registros feitos para nesse par de vasos contendo cebolinha-verde.

Com 20 dias de desenvolvimento, houve um certo aumento na altura de alguns ramos centrais no vaso intitulado “Ativação I” em comparação ao controle. Entretanto, ocorreu certa mortalidade de alguns ramos presentes no primeiro vaso citado e dado fator de enfraquecimento tendeu a aumentar nos dois vasos de análise, mas os ramos no vaso “Ativação I” ainda mantiveram uma taxa de crescimento significativa em relação ao controle como visto na Figura 48-b. Tal efeito de mortalidade pode ser atribuído à quantidade de luz recebida por estes ramos

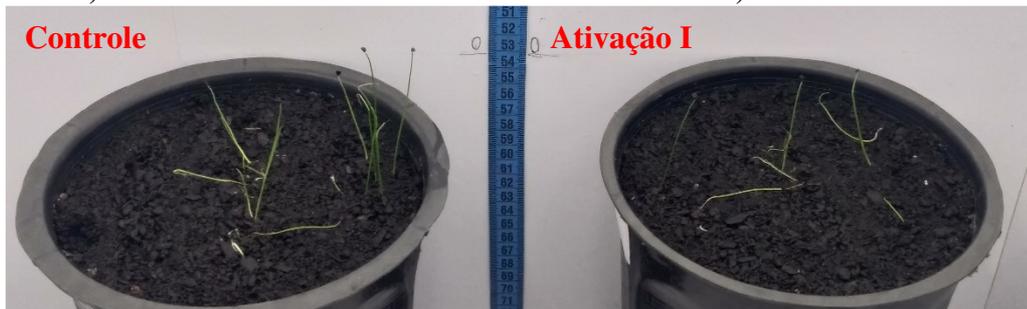
dado que os vasos foram mantidos próximos às paredes do caixote, além da acomodação das sementes na terra. E o efeito de diferenciação nas taxas de germinação e crescimento pode ser justificado pela ação das espécies reativas como íons NO_2^- e NO_3^- que enriquecem o solo e são mais assimilados através das raízes das plantas, semelhante ao ocorrido nos demais grupos analisados neste trabalho.

Figura 48. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação integral nos dias 20 e 30 de desenvolvimento da cebolinha-verde.



a) Vista frontal - Dia 20

b) Vista frontal - Dia 30



c) Vista superior frontal - Dia 20



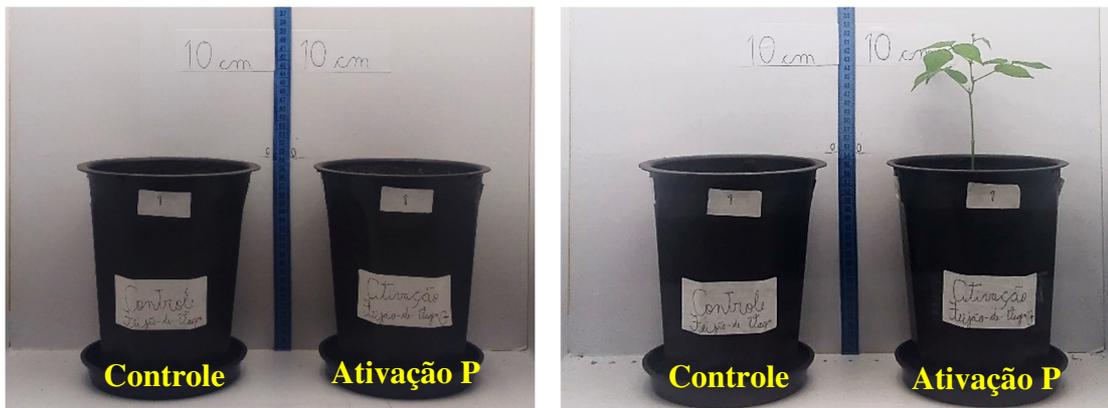
d) Vista superior frontal - Dia 30

Fonte: Próprio Autor.

3.4.3 Feijão-de-vagem

Neste grupo amostral, não foi possível avaliar o crescimento das sementes de feijão-de-vagem, pois apenas uma semente teve sua germinação efetivada (contida no vaso “Ativação P”) após 15 dias de observação. A seguir, será mostrado o resultado obtido pelo par “Controle” e “Ativação P”, na Figura 49, após 30 dias de desenvolvimento.

Figura 49. Diferentes vistas dos grupos de controle e ativação parcial nos dias 0 e 30 de desenvolvimento do feijão-de-vagem.



a) Vista Frontal - Dia 0

b) Vista Frontal - Dia 30

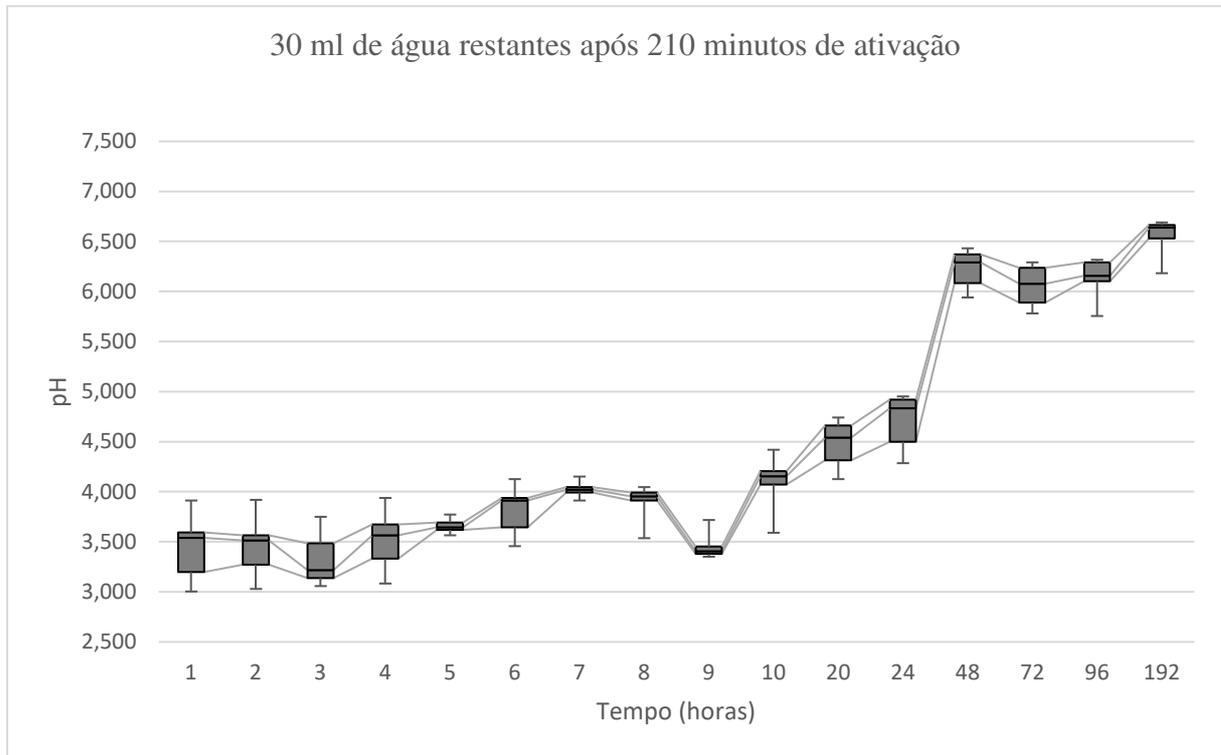
Fonte: Próprio Autor.

3.5 Perda do Efeito de Ativação da Água

Como o efeito de ativação da água é finito, foi analisado o período em que as espécies reativas secundárias como íons e radicais livres tendem a voltar ao estado de primárias como oxigênio e nitrogênio atômicos e, em seguida, para o estado gasoso original antes de sofrerem os processos colisionais citados no Item 1.4.

A amostra analisada continha 30 ml de água restantes dos 450 ml de água ativada por 210 minutos. Era pretendido analisar os 50 ml de água restantes, no entanto, houve uma evaporação de 20 ml, aproximadamente, durante o processo de ativação por plasma. O gráfico, que mostra a possível perda do efeito de ativação da água por análise de aumento do pH durante o tempo de exposição ao plasma, está representado na Figura 50 e os dados numéricos como média, desvio padrão, mediana, os quartis e entre outros parâmetros estão no Apêndice A, Tabela A-3.

Figura 50. Aumento de pH após tratamento da água por plasma frio.



Fonte: Próprio Autor.

À temperatura ambiente, foi possível notar que 30 ml de água restante sofreu um aumento de pH menor após 5 horas e mais acentuado após 48 horas a partir do final do processo de ativação por 210 minutos; e tendeu a permanecer em certo estado de homeostase até 192 horas de observação desta perda do efeito de ativação da água. Caso este aumento de pH esteja associado ao processo de perda do efeito de ativação da água, pode-se presumir que, após exposição ao plasma frio, a amostra de água apresentou uma taxa de perda do efeito de ativação alta neste trabalho, dada a comparação com a literatura, pois, em alguns casos, foi observado um decaimento do pH de 6,8 até 2,3 de água ativada por 20 minutos. E depois deste período de ativação, certas amostras não apresentaram aumento de seus respectivos valores de pH após 30 dias de observação em diferentes condições de armazenamento [4].

4. CONCLUSÃO

As aplicações tecnológicas utilizando o plasma frio como ferramenta para tratamento da água estão sendo mais estudadas nos últimos anos dado a tendência promissora de aumento de produtividade no setor agrícola.

Portanto, este trabalho teve a premissa de elaborar um arranjo experimental capaz de tratar a água de rega e observar seus efeitos de crescimento de certas plantas. O projeto teve seu início com o desenvolvimento da aparelhagem necessária para construção de um gerador de alta tensão constituído por um reator de lâmpada e um transformador *flyback*. Foram feitos dois arranjos nos quais um continha um capacitor de 5 nF, aproximadamente, conectado em paralelo aos pinos de entrada do transformador e o outro, sem este capacitor. A comparação dos gráficos, referentes às curvas de altas tensões à nível DC em relação ao tempo feito com o auxílio de um osciloscópio, mostrou uma queda na frequência de operação e aumento da tensão gerada no arranjo com capacitor e, por tal motivo, foi escolhido para ser utilizado neste trabalho.

Com este gerador, foi estabelecido o plasma do tipo descarga em arco deslizante que apresenta dois tipos de regime de operação: térmico e não-térmico. Cada regime tem seu ponto favorável dado que o primeiro apresenta uma alta densidade de elétrons e o segundo uma alta geração de espécies reativas já que seu processo de transferência de energia ser causado por impacto eletrônico direto. Estas duas características favorecem a manutenção do plasma e a seletividade química do processo respectivamente.

A partir da geração de espécies reativas primárias do plasma frio e a difusão delas na água por meio de um reator, pode-se notar que houve um decaimento do pH da água o qual foi medido, inicialmente, por fitas colorimétricas que mostraram uma transição de pH ao decorrer do tempo de processo de ativação da água a partir da alteração no padrão de cores, obtendo assim medidas semiquantitativas. Com estas medidas, foi passível de se notar alterações do pH neutro para o mais ácido após 60 minutos para amostras de água de rega do alpiste e cebolinha-verde. Em seguida, foram feitos testes utilizando um módulo de sensor em conjunto com o microcontrolador da plataforma Arduino, obtendo assim variáveis mais quantitativas as quais mostraram uma variação significativa de até 4 do pH, variando do neutro até o mais ácido das amostras tiradas do volume de 250 ml a partir de 75 até 180 minutos de processo; e variação de 3,5, a partir de 105 até 210 minutos de ativação de amostras recolhidas de 450 ml de água.

Ao desligar o gerador de alta tensão, a água tendeu a perder o efeito de ativação a partir do aumento de variação do pH após 48 horas e apresentou certo estado de homeostase até 192 horas de observação.

Os resultados do desenvolvimento parcial do alpiste mostraram o aumento mais significativo das taxas de germinação e crescimento nos vasos regados com água ativada nos grupos 3 e 4 em contraponto com 1 e 2. O preparativo inicial dado para os grupos 1 e 3 mostrou-se parcialmente relevante dadas algumas discrepâncias geradas tanto na germinação quanto no desenvolvimento do alpiste nestes grupos amostrais em um sistema de plantio sem controle. Já no grupo de cebolinha-verde, o vaso que recebeu uma rega parcial com água ativada gerou um aumento na taxa de germinação, densidade e altura dos ramos em relação ao controle em um local de armazenamento com período de iluminação controlado e fornecimento de calor a partir do aquecimento dos eletrodos das lâmpadas fluorescentes. Entretanto, tanto no vaso que teve uma irrigação integral com água ativada quanto de controle, sofreram uma mortalidade inesperada de seus ramos entre os 20 e 30 dias de observação, gerando resultados inconclusivos para este par e, também, o par ativação parcial e integral. Não foram obtidos resultados no grupo de feijão-de-vagem dado que as sementes, contidas nos vasos intitulados “Controle” e “Ativação I”, não germinaram.

4.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

- Elaborar um circuito elétrico no qual possa variar os parâmetros como tensão e frequência de operação do gerador de alta tensão e estudar os efeitos dessas modulações no processo de ativação da água e crescimentos das plantas.

- Utilizar outros tipos de configuração de eletrodos para geração do arco deslizante, alterando a quantidade e formato deles.

- Aprimorar o sistema de automatização para realizar o sincronismo de tempo de acionamento dos equipamentos como gerador de alta tensão, mini bomba compressora de ar e lâmpadas dentro de um mesmo local.

- Realizar o registro diário da evolução das plantas com o Módulo Esp32 Cam no qual acompanha uma câmera Ov2640 2mp Esp32 Cam.

- Realizar outros métodos de medidas como potencial de oxirredução, condutividade e espectrometria com radiação ultravioleta para quantificar a concentração de certos componentes presente no processo de ativação da água.

- Realizar a caracterização do plasma do tipo arco deslizante e medir a concentração de espécies reativas primárias através do espectrômetro de emissão óptica e espectrofotometria óptica de ultravioleta respectivamente.
- Observar a evolução de crescimento das raízes das plantas ao longo do tempo para comparar a taxa de competição entre elas nos diferentes grupos amostrais.
- Adicionar pequenas concentrações de hidróxido de sódio e observar a taxa de perda do efeito de ativação da água.

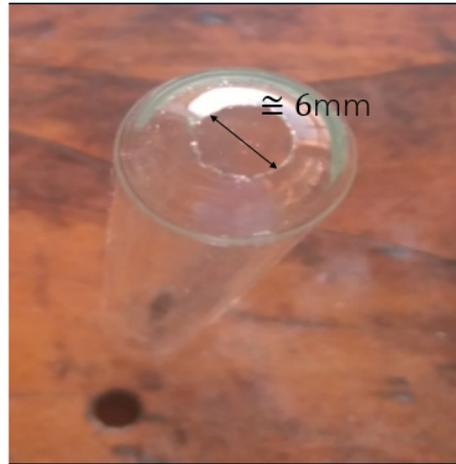
REFERÊNCIAS

1. BELLAN, Paul M. **Fundamentals of plasma physics**. Cambridge University Press, p.1-3, 2008.
2. BETTENCOURT, J.A. **Fundamentals of plasma physics**. 4ª Edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). p 1-9. 2018.
3. THIRUMDAS, Rohit et al. **Exploitation of cold plasma technology in agriculture**. Advances in Research, p. 1-7, 2017.
4. THIRUMDAS, Rohit et al. **Plasma activated water (PAW): Chemistry**, physico-chemical properties, applications in food and agriculture. Trends in food science & technology, v. 77, p. 21-31, 2018.
5. PUACĀ, Nevena; GHERARDI, Matteo; SHIRATANI, Masaharu. **Plasma agriculture: A rapidly emerging field**. Plasma Processes and Polymers, v. 15, n. 2, p. 170-174, 2018.
6. LIEBERMAN, Michael A.; LICHTENBERG, Alan J. **Principles of plasma discharges and materials processing**. 2ª Edição. John Wiley & Sons, 2005.
7. SAGÁS, JULIO CÉSAR. **Caracterização de descarga de arco deslizante**. São José dos Campos. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Tese de Mestrado, 2009.
8. BOGAERTS, Annemie et al. **Gas discharge plasmas and their applications**. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, v. 57, n. 4, p. 609-658, 2002.
9. EL-ARAGI, G. M. **Gliding arc discharge (GAD) experiment**. Plasma Physics and Nuclear Fusion Dept., Nuclear Research Center, AEA, PO, v. 13759, 2009.
10. FRIDMAN, Alexander et al. **Gliding arc gas discharge**. Processos em energia e ciência de combustão, v. 25, n. 2, p. 211-231, 1999.
11. Desenvolvimento do Gerador de Alta Tensão usando *Flyback*. Disponível em: <https://www.marlonnardi.com/>. Acesso em: 14/12/19.
12. Tira Universal de pH. Disponível em: <https://kasvi.com.br/>. Acesso em: 22/02/20.
13. As Reações Dependentes de Luz para Fotossíntese. Disponível em: <https://cnx.org/contents>. Acesso em: 19/06/20
14. Projeto 50 - Relógio Digital Arduino com Módulo RTC de Alta Precisão e Adaptador I2C em *display*. Disponível em: <http://www.squids.com.br/>. Acesso em: 24/03/20.
15. BURLICA, Radu; KIRKPATRICK, Michael J.; LOCKE, Bruce R. **Formation of reactive species in gliding arc discharges with liquid water**. Journal of Electrostatics, v. 64, n. 1, p. 35-43, 2006.
16. FOSTER, John E. **Plasma-based water purification: Challenges and prospects for the future**. Physics of Plasmas, v. 24, n. 5, p. 055501, 2017.
17. SOUTO, Marco AM et al. **A determinação de nitrato em águas por espectrofotometria UV: usos e precauções**. Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 65, n. 1, p. 66-70, 2006.
18. SILVA, João D. **Transformador para Fonte de Alta-tensão Contínua**. Lisboa. Instituto Superior De Engenharia De Lisboa. Tese de Mestrado, 2013.
19. Santos, Marcos V. **Desenvolvimento De Um Gerador De Impulso De Alta Tensão Em Escala Reduzida Para A Investigação De Descargas Atmosféricas**. Ouro Preto. Universidade Federal De Ouro Preto. Tese de Graduação, 2017.

20. Guia de Arduino para Iniciantes.
Disponível em: <https://multilogica-shop.com/>.
Acesso em: 20/02/2020.
21. Macro PLX-DAQ EXCEL.
Disponível em: <https://www.parallax.com/>.
Acesso em: 05/07/2020.

APÊNDICE A – Ativação da água e perda deste efeito

Figura A-1. Furo escareado devido a trepidação da bronca em relação ao tubo.



Fonte: Próprio Autor.

Figura A-2. Parte superior da tampa plástica fixada ao tubo de ensaio.



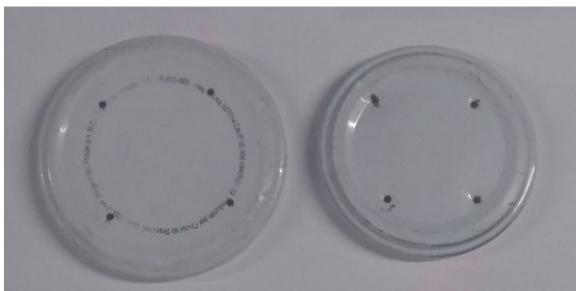
Fonte: Próprio Autor.

Figura A-3. 12 perfurações na tampa realizadas com auxílio de uma agulha.



Fonte: Próprio Autor.

Figura A-4. As duas tampas dos reatores usados no processo de ativação com 4 furos cada.



Fonte: Próprio Autor.

Tabela A-1. Dados de variação do pH das amostras de água, relativas ao 250 ml inicialmente, durante o período de exposição ao plasma.

pH \ minutos	0	5	10	15	30
Média	7,123	5,995	6,256	6,517	6,796
Desvio Padrão	0,147	0,206	0,220	0,120	0,126
Mínimo	6,985	5,516	5,783	6,290	6,638
Lim. Inferior	6,935	5,676	5,969	6,344	6,598
Primeiro quartil	7,012	5,836	6,103	6,424	6,691
Mediana	7,079	5,997	6,251	6,504	6,771
Terceiro quartil	7,165	6,157	6,371	6,584	6,878
Máximo	7,439	6,397	6,691	6,771	7,172
Lim. Superior	7,395	6,639	6,773	6,824	7,159

a) Período de ativação entre 0 a 30 minutos.

pH \ minutos	45	60	75	90	105
Média	6,755	6,785	6,767	5,602	4,333
Desvio Padrão	0,169	0,185	0,135	0,181	0,176
Mínimo	6,531	6,424	6,504	5,382	4,046
Lim. Inferior	6,451	6,478	6,518	5,342	4,043
Primeiro quartil	6,611	6,638	6,638	5,462	4,187
Mediana	6,665	6,758	6,798	5,542	4,327
Terceiro quartil	6,932	6,958	6,878	5,703	4,474
Máximo	7,039	7,119	6,985	6,050	4,687
Lim. Superior	7,414	7,438	7,238	6,065	4,905

b) Período de ativação entre 45 minutos a 105 minutos.

pH \ minutos	120	125	130	135	150	165	180
Média	3,824	3,476	3,509	3,276	3,148	2,966	2,863
Desvio Padrão	0,188	0,124	0,128	0,120	0,101	0,119	0,112
Mínimo	3,512	3,298	3,271	3,084	3,031	2,817	2,737
Lim. Inferior	3,518	3,271	3,278	3,064	2,965	2,790	2,723
Primeiro quartil	3,659	3,378	3,392	3,164	3,058	2,870	2,790
Mediana	3,832	3,458	3,512	3,245	3,125	2,924	2,817
Terceiro quartil	3,939	3,592	3,619	3,365	3,245	3,031	2,924
Máximo	4,287	3,699	3,806	3,565	3,351	3,271	3,138
Lim. Superior	4,360	3,913	3,960	3,665	3,526	3,273	3,125

c) Período de ativação entre 120 minutos a 180 minutos.

Tabela A-2. Dados de variação do pH das amostras de água, relativas ao 450 ml inicialmente, durante o período de exposição ao plasma.

pH \ minutos	5	10	15	30	45	60
Média	7,149	6,191	6,592	6,371	6,649	6,719
Desvio padrão	0,118	0,314	0,204	0,168	0,112	0,112
Mínimo	6,905	5,302	5,729	5,916	6,237	6,451
Lim. Inferior	7,066	5,783	6,358	6,157	6,514	6,612
Primeiro quartil	7,119	6,004	6,478	6,264	6,591	6,665
Mediana	7,145	6,171	6,611	6,371	6,665	6,718
Terceiro quartil	7,226	6,444	6,718	6,478	6,745	6,771
Máximo	7,546	6,798	6,985	6,745	6,825	6,958
Lim. Superior	7,387	7,105	7,078	6,799	6,976	6,930

a) Período de ativação entre 0 minuto a 60 minutos.

pH \ minutos	75	90	105	120	135
Média	6,470	6,651	6,383	4,925	4,129
Desvio padrão	0,194	0,047	0,220	0,192	0,108
Mínimo	6,023	6,558	5,970	4,661	3,832
Lim. Inferior	6,126	6,571	6,087	4,568	4,017
Primeiro quartil	6,297	6,611	6,244	4,741	4,080
Mediana	6,518	6,665	6,384	4,901	4,180
Terceiro quartil	6,638	6,691	6,558	5,088	4,206
Máximo	6,745	6,745	6,825	5,302	4,287
Lim. Superior	7,150	6,811	7,029	5,609	4,395

b) Período de ativação entre 75 minutos a 135 minutos.

pH \ minutos	150	165	180	195	210
Média	3,635	3,415	3,192	3,189	3,141
Desvio padrão	0,192	0,192	0,222	0,129	0,176
Mínimo	3,245	3,031	2,897	2,951	2,764
Lim. Inferior	3,298	3,088	2,737	2,938	2,921
Primeiro quartil	3,465	3,245	2,977	3,058	3,038
Mediana	3,725	3,485	3,138	3,232	3,245
Terceiro quartil	3,799	3,558	3,458	3,298	3,271
Máximo	3,832	3,619	3,512	3,325	3,298
Lim. Superior	4,301	4,028	4,180	3,658	3,621

c) Período de ativação entre 150 minutos a 210 minutos.

Tabela A-3. Dados de variação do pH das amostras, relativas ao volume de 450 ml de água inicialmente, por tempo após exposição ao plasma.

pH \ horas	1	2	3	4	5
Média	3,418	3,412	3,294	3,490	3,652
Desvio padrão	0,215	0,187	0,177	0,208	0,055
Mínimo	3,004	3,031	3,058	3,084	3,565
Lim. Inferior	3,001	3,124	2,965	3,161	3,582
Primeiro quartil	3,198	3,271	3,138	3,332	3,619
Mediana	3,538	3,512	3,218	3,565	3,645
Terceiro quartil	3,592	3,565	3,485	3,672	3,692
Máximo	3,645	3,592	3,565	3,725	3,779
Lim. Superior	4,183	4,006	4,006	4,183	3,802

a) Período de perda da ativação entre 1 à 5 horas.

pH \ horas	6	7	8	9	10
Média	3,810	4,011	3,898	3,482	4,114
Desvio padrão	0,183	0,041	0,152	0,179	0,171
Mínimo	3,458	3,913	3,538	3,351	3,592
Lim. Inferior	3,498	3,967	3,873	3,341	4,007
Primeiro quartil	3,645	3,993	3,913	3,378	4,073
Mediana	3,913	4,019	3,953	3,405	4,153
Terceiro quartil	3,939	4,046	3,993	3,452	4,206
Máximo	4,019	4,100	4,019	3,939	4,313
Lim. Superior	4,380	4,126	4,113	3,562	4,406

b) Período de perda da ativação entre 6 à 10 horas.

pH \ horas	20	24	48	72	96	192
Média	4,494	4,734	6,238	6,061	6,164	6,557
Desvio padrão	0,182	0,223	0,154	0,179	0,150	0,151
Mínimo	4,126	4,287	5,943	5,783	5,756	6,184
Lim. Inferior	4,139	4,289	5,940	5,717	6,010	6,464
Primeiro quartil	4,313	4,500	6,084	5,890	6,103	6,531
Mediana	4,541	4,835	6,290	6,077	6,157	6,638
Terceiro quartil	4,661	4,921	6,371	6,237	6,290	6,665
Máximo	4,714	5,008	6,478	6,317	6,371	6,691
Lim. Superior	5,183	5,553	6,802	6,758	6,571	6,866

b) Período de perda da ativação entre 20 à 192 horas.

APÊNDICE B – Sistema de controle

Código B-1: Sincronismo de tempo de acionamento das lâmpadas

```

#include "Wire.h"
#include "LiquidCrystal_I2C.h"
#include "RTClib.h"
RTC_DS3231 rtc;
#define DS3231_ADDRESS 0x68
#define lamp1_2_plant_reator_duplo 7 // Lâmpada 1 e 2
#define lamp3_plant_reator_simples 9 // Lâmpada 3
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE);
byte zero = 0x00;
void setup()
{
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin (16,2);// Reconhecimento do Display de LCD 16X2
  //A linha abaixo pode ser retirada após setar a data e horas
  //SelecionaDataehoras(); // Finalizado o ajuste da data e hora, deixe como comentário e
  carregue o programa no arduino novamente.
  pinMode(lamp1_2_plant_reator_duplo, OUTPUT);// Definição do pino de saída do reator
  duplo das Lâmpadas 1 e 2
  pinMode(lamp3_plant_reator_simples, OUTPUT);// Definição do pino de saída do reator
  simples da Lâmpada
void loop()
{
  // Le os valores (data e horas) do módulo DS3231
  Wire.beginTransmission(DS3231_ADDRESS);// Identificação da classe do módulo RTC
  Wire.write(zero);
  Wire.endTransmission();
  Wire.requestFrom(DS3231_ADDRESS, 7);// Identificação da classe do módulo RTC

```

```
int segundos = ConverteparaDecimal(Wire.read());
int minutos = ConverteparaDecimal(Wire.read());
int horas = ConverteparaDecimal(Wire.read());
int weekday = ConverteparaDecimal(Wire.read());
int monthday = ConverteparaDecimal(Wire.read());
int mes = ConverteparaDecimal(Wire.read());
int ano = ConverteparaDecimal(Wire.read());
// Mostra os dados no display
lcd.setCursor(0,1);
//lcd.print(" ");
//Acrescenta o 0 (zero) se a horas for menor do que 10
if (horas <10)
    lcd.print("0");
lcd.print(horas);
lcd.print(":");
// Acrescenta o 0 (zero) se minutos for menor do que 10
if (minutos < 10)
    lcd.print("0");
lcd.print(minutos);
lcd.print(":");
// Acrescenta o 0 (zero) se segundos for menor do que 10
if (segundos < 10)
    lcd.print("0");
lcd.print(segundos);
lcd.setCursor(2,0);
// Mostra o dia da semana
switch(weekday){
    case 1:lcd.print("Dom");
        break;
    case 2:lcd.print("Seg");
        break;
    case 3:lcd.print("Ter");
        break;
    case 4:lcd.print("Qua");
        break;
```

```

    case 5:lcd.print("Qui");
    break;
    case 6:lcd.print("Sex");
    break;
    case 7:lcd.print("Sab");
  }
  lcd.setCursor(6,0);
  // Acrescenta o 0 (zero) se dia do mês for menor do que 10
  if (monthday < 10)
    lcd.print("0");
  lcd.print(monthday);
  lcd.print("/");
  // Acrescenta o 0 (zero) se mês for menor do que 10
  if (mes < 10)
    lcd.print("0");
  lcd.print(mes);
  lcd.print("/");
  // Acrescenta o 0 (zero) se ano for menor do que 2010
  if (ano<10)
    lcd.print("0");
  lcd.print(ano);
  lcd.setCursor(9,1);
  //Sem espaçamento caso a temperatura for maior igual à 100
  if (rtc.getTemperature()>=100){
    lcd.print(rtc.getTemperature());
    lcd.println("C");
  }
  //Com espaçamento caso a temperatura for menor à 10
  if (rtc.getTemperature()<10){
    lcd.print(" ");
    lcd.print(rtc.getTemperature());
    lcd.println(" C");
  }
  else{
    lcd.print(rtc.getTemperature());

```

```

    lcd.println(" C");
  }
  if (horas >12) {
    digitalWrite(lamp1_2_plant_reator_duplo, HIGH);
    digitalWrite(lamp3_plant_reator_simples, HIGH);
  }
  if (horas >=23){
    digitalWrite(lamp1_2_plant_reator_duplo, LOW);
    digitalWrite(lamp3_plant_reator_simples, LOW);
  }
  delay(100);
}
void SeleccionaDataehoras() //Seta a data e a horas do DS3231
{
  byte segundos = 50; //Valores de 0 a 59
  byte minutos = 49; //Valores de 0 a 59
  byte horas = 14; //Valores de 0 a 23
  byte weekday = 7; //Valores de 1 a 7 - 1 = Domingo, 2 = Segunda, etc.
  byte monthday = 24; //Valores de 1 a 31
  byte mes = 05; //Valores de 1 a 12
  byte ano = 20; //Valores de 0 a 99
  Wire.beginTransmission(DS3231_ADDRESS);
  Wire.write(zero); //Stop no CI para que o mesmo possa receber os dados

  //As linhas abaixo escrevem no CI os valores de data e horas que foram colocados nas
  //variáveis acima
  Wire.write(ConverteParaBCD(segundos));
  Wire.write(ConverteParaBCD(minutos));
  Wire.write(ConverteParaBCD(horas));
  Wire.write(ConverteParaBCD(weekday));
  Wire.write(ConverteParaBCD(monthday));
  Wire.write(ConverteParaBCD(mes));
  Wire.write(ConverteParaBCD(ano));
  Wire.write(zero);
  Wire.endTransmission();

```

```

}
byte ConverteParaBCD(byte val)
{
  //Converte o número de decimal para BCD
  return ( (val/10*16) + (val%10) );
}
byte ConverteparaDecimal(byte val)
{
  //Converte de BCD para decimal
  return ( (val/16*10) + (val%16) );
}

```

Fonte: Modificado pelo Autor. [14]

Código B-2: Medição do pH da água.

```

#define PH 0
int LABEL =1;
int PHR = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA"); //Limpeza de dados a cada reiniciação da macro no Excel
  Serial.println("LABEL,TENSAO,PH"); //(LABEL) Títulos presentes nas colunas da
  planilha
}
void loop() {
  int measure = analogRead(PH); //Definição de leitura de dados na entrada analógica
  float Volts = 4.8 / 1024 * measure; //Conversão de valor digital para tensão
  float PHR =(-5.7 * Volts ) + 21.44; //Conversão de tensão para pH disponibilizada pelo
  fabricante.
  Serial.print("DATA,"); // Reconhecimento para transferência de dados para o Excel
  Serial.print(Volts, 3); // Transferência de valor de tensão medidos na entrada analógica com
  até três casas decimais
  Serial.print(","); // Separação de coluna na planilha do Excel
  Serial.println(PHR, 3) ;// Transferência de valor do pH com até três casas decimais
  delay(1000); }

```

Fonte: Próprio Autor.

APÊNDICE C – Sistemas de plantio experimentais

Figura C-1. Posicionamento do suporte no local de armazenamento.



Fonte: Próprio Autor

Tal suporte foi constituído por duas corredeiras metálicas de trilho usadas em gavetas de armário nas quais foi fixada uma base de madeira na qual foi feita uma cavidade com profundidade e largura suficiente para fixar o celular em uma posição horizontal e câmara ficassem centrada em relação ao fundo do caixote. Esta posição foi favorável para tirar fotos das plantas de maneira mais centralizada possível. Este sistema de suporte foi posicionado à 28 cm de altura com 90 cm distância em relação a base do caixote e os vasos respectivamente.

APÊNDICE D – Resumo publicado no Boletim Técnico da FATEC-SP,
Edição Especial, v. 50, p. 53, 2020.

ESTUDO DO EFEITO DA ÁGUA ATIVADA POR PLASMA NO CRESCIMENTO DE PLANTAS

Gabriel de Almeida Filgueira¹, Roberto Katsuhiro Yamamoto²

^{1,2}Faculdade de Tecnologia de São Paulo

¹gabriel_almeida_filgueira@hotmail.com / ²katsu@fatecsp.br

1. Introdução

Nos últimos anos, o plasma frio tem sido objeto de estudo para aplicações tecnológicas no setor agrícola. Tanto em baixa quanto em pressão atmosférica, é possível gerar espécies neutras e reativas no plasma frio e algumas delas são importantes para o efeito de fertilização do solo [1]. Por tal motivo, este trabalho foi desenvolvido para avaliar o processo de ativação da água por plasma em pressão atmosférica. Com esta água tratada, foi possível realizar a irrigação de plantas e observar os efeitos no crescimento delas.

2. Materiais e Métodos

Para geração do plasma frio, foi utilizado um plasma do tipo arco deslizante por meio de um conversor *flyback* que provoca alta tensão, cerca de 1 kV a 2 kV, entre dois eletrodos no secundário sendo que eles devem estar afastados de 1 mm a 2 mm. No primário do *flyback*, é conectado um reator de lâmpada que fornece uma tensão eficaz de 9 V. O arco desliza devido à presença de um fluxo de ar obtido por uma bomba de aquário simples com vazão de 3L/min. O arranjo experimental é representado na Figura 1.

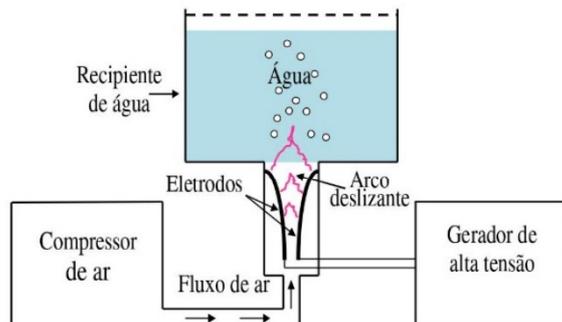


Figura 1. Representação do arranjo experimental.

Foi utilizado um recipiente com 250 ml de água ativada por cerca de 120 minutos exposta ao plasma. Previamente, as sementes de alpiste foram mergulhadas em água com e sem ativação para os diferentes grupos por 24 horas.

As amostras foram separadas em dois grupos: um vaso com terra regada diariamente com 50 ml de água ativada e o outro grupo de controle, sem ativação.

Durante a ativação da água, ocorre um aumento da concentração de íons H^+ nela [2] e, portanto, a eficiência da ativação foi aferida por meio de uma fita de pH que fornece uma medida semiquantitativa do processo.

3. Resultados e discussões

Passados 20 dias, na Figura 2, é possível notar que o grupo ativação apresentou um aumento significativo de altura e densidade comparando com o grupo de controle.



a) Grupo de controle

b) Grupo de ativação

Figura 2 - Desenvolvimento do alpiste após 20 dias.

Tal efeito de diferenciação pode ser justificado, baseando em dados de periódicos, devido às principais espécies reativas formadas no plasma: íons nitrito NO_2^- e nitrato NO_3^- [2] inseridas na água de rega. Tais componentes essenciais participam, diretamente, do processo de fertilização do solo nas amostras.

4. Conclusões

Neste trabalho, o tratamento da água por plasma frio, focando na inserção de espécies reativas, para rega das sementes de alpiste que auxiliam no processo de fertilização do solo, teve como resultados o aumento significativo de altura e densidade da planta, apresentando uma diferenciação dos grupos de ativação e controle após 20 dias. Com isso, o processo de ativação da água para rega de planta tende a ser promissor no setor agrícola dada a possibilidade de um aumento na qualidade e produtividade de certos alimentos.

5. Referências

- [1] N. Puač, M. Gherardi e M. Shiratani. Plasma agriculture: A rapidly emerging field. *Plasma Processes and Polymers*, v. 15, n. 2, p. 1-5, 2018.
- [2] R. Thirumdas et al. Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture. *Trends in food science & technology*, v.77, p. 21-31, 2018.

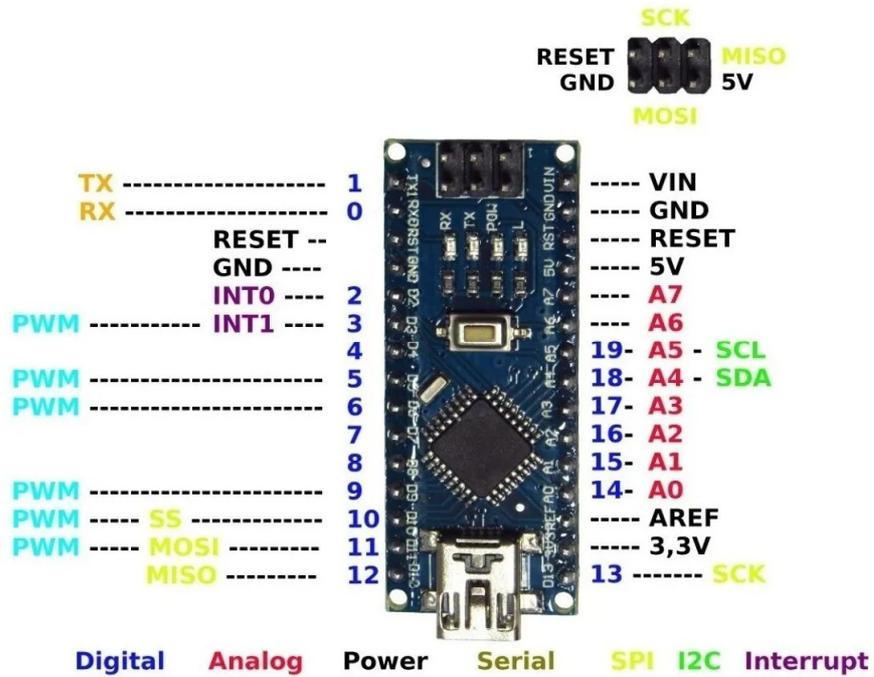
6. Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro e à Fatec-SP.

¹Aluno de Iniciação Científica PIBIC/CNPq.

ANEXO A – Sistema de controle

Figura A-1. Pinagem do Arduino NANO.



Fonte: <https://lobodarobotica.com/>

Figura A-2. Módulo de Leitor de pH e seu eletrodo inerte



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/>

ANEXO B – Aplicação do plasma frio ou descarga luminescente na agricultura

Tabela B-1. Reações físico-químicas para ativação da água por plasma frio.

$\text{H}_2\text{O} + e \rightarrow \text{OH}\cdot + \text{H}\cdot + e^-$	(1)
$\text{H}_2\text{O} + e \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}\cdot + 2 e^-$	(2)
$\text{H}_2\text{O} + e \rightarrow \text{H}\cdot + \text{O}\cdot + \text{H}\cdot + e^-$	(3)
$\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}^+ + \text{O} + 2e$	(4)
$\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}^- + \text{O}$	(5)
$\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$	(6)
$\text{O}_3 + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$	(7)
$\text{N} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}$	(8)
$\text{O} + \text{N}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{N}$	(9)
$\text{O} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_2$	(10)
$2 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$	(11)
$\text{NO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{HNO}_3$	(12)
$\text{H}_2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{OH}\cdot + \text{OH}\cdot$	(13)
$3 \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HNO}_3 + \text{NO}$	(14)
$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{ONOOH} + \text{H}_2\text{O}$	(15)
$\text{OH}\cdot + \text{OH}\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	(16)
$\text{NO} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$	(17)
$\text{NO} + \text{OH}\cdot \rightarrow \text{HNO}_2$	(18)
$\text{HNO}_2 + \text{OH}\cdot \rightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	(19)
$\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}\cdot$	(20)
$\text{NO}_3 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}_2$	(21)
$\text{NO}_2 + \text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_5$	(22)
$\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3$	(23)
$2 \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$	(24)
$3 \text{NO}_2^- + 3 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{NO} + \text{NO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$	(25)
$\text{OH} + \text{NO}_2 \rightarrow [\text{O}=\text{N}-\text{OOH}] \rightarrow \text{O}=\text{N}-\text{OO}^- + \text{H}^+$	(26)

Fonte: Reproduzido por THIRUMDAS, Rohit et al. [4]

Os processos para a formação de espécies reativas primárias mais relevantes como o radical hidroxila ($\text{OH}\cdot$), oxigênio (O) e nitrogênio (N) atômicos estão representados nas equações 2, 5 e 9 respectivamente. E as espécies reativas secundárias como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) estão presentes nas equações 16, 24 e 25 respectivamente.

Tabela B-2. Parâmetros referentes ao processo de ativação da água feitos em diferentes dispositivos de plasma.

Dispositivos de Plasma	Gás de trabalho	Tempo de Ativação (min)	pH	ORP (mV)	Condutividade $\mu\text{S/cm}$
Jato de plasma	Ar/O ₂	15	3.0	550	450
Micro jato de plasma	Air	20	2.3	540	
Micro jato de plasma	Ar/O ₂	20	6.1	250	18.8
DBD Micro jato de plasma	Air	15	2.7	-	-
Jato de plasma	Ar/O ₂	15	3.7	467	218
Arco deslizando	Air, O ₂ , N ₂	15	2.8, 3.2, 3.0	-	1100, 300, 500
Micro jato de plasma	Ar/O ₂	20	-	490	-
Eletrodo de alta voltagem	Argon	15	3.0	-	200
DBD	Air, O ₂	20	2.1, 2.2	-	-
Jato de plasma à baixa frequência	He	5	4.2	-	-
DBD com eletrodos paralelos	Air	10	1.9	550	2000
Arco deslizando	Argon	2	3.6-3.7	-	50-70

Fonte: Reproduzido por THIRUMDAS, Rohit et al. [4]

Nesta Tabela, é possível observar que o dispositivo de plasma do tipo descarga em arco deslizando utilizando os gases presentes no ar apresentou uma taxa de decaimento de pH média da água em relação ao jato de plasma e micro jato de plasma do tipo DBD (Descarga de Barreira Dielétrica).