

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**FERNANDO CZELUSNIAK
PAULO GABRIEL HEITY MORI DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO A PLASMA NA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO
DE SEMENTES DE SOJA**

**CURITIBA - PR
2022**

**FERNANDO CZELUSNIAK
PAULO GABRIEL HEITY MORI DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO A PLASMA NA GERMINAÇÃO E
CRESCIMENTO DE SEMENTES DE SOJA**

Influence of plasma treatment on germination and growth of soybean seeds

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Dr. Euclides Alexandre Bernardelli
Coorientadora(a): Marjorie Benegra

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FERNANDO CZELUSNIAK
PAULO GABRIEL HEITY MORI DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO A PLASMA NA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO
DE SEMENTES DE SOJA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 24/Junho/2022

Euclides Alexandre Bernardelli
Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cristiano Brunetti
Doutorado em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ana Carla Cordeiro
Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2022

RESUMO

A soja é uma oleaginosa com papel fundamental na economia brasileira e mundial, atuando como matéria-prima para alimentos, óleos e rações destinadas a animais. A promoção do aumento da produtividade do cultivo do grão é realizada pelo desenvolvimento e aplicação de metodologias envolvidas em toda a cadeia de produção. Métodos convencionais para aumento de produtividade são muitas vezes prejudiciais ao meio ambiente. Para desenvolver uma alternativa aos meios convencionais, com uma visão sustentável, este trabalho busca estudar a influência do tratamento a plasma na germinação e crescimento de sementes de soja. Com este objetivo, os parâmetros de comparação tomados são o teste de germinação, comprimento de raiz e absorção de água. As sementes de soja foram tratadas a plasma em um reator indutivamente acoplado em atmosfera de ar atmosférico, nitrogênio e oxigênio com tempos de tratamento de 15, 60 e 120 segundos. Foram obtidos melhores desempenhos de germinação, crescimento de raiz e absorção de água para o tempo de tratamento de 15 segundos para todos os gases. Para este tempo, o gás que atingiu os melhores resultados foi o ar atmosférico seguido do oxigênio e por fim o nitrogênio. A fim de comparar os resultados dos testes com a mudança na superfície das sementes, após os tratamentos elas foram analisadas com um microscópio ótico com aumento de 16 e 32 vezes. Foi observado trincas e marcas superficiais mais intensas para os tratamentos de 60 e 120 segundos, sendo elas as responsáveis pela piora de performance em relação ao tempo de 15 segundos.

Palavras-chave: Semente; soja; plasma em O₂; plasma em ar atmosférico; plasma em N₂; germinação.

ABSTRACT

Soybean is an oilseed with a fundamental role in the Brazilian and world economy, acting as a raw material for food, oils and animal feed. The promotion of increased productivity in grain cultivation is carried out by the development and application of methodologies involved in the entire production chain. Conventional methods of increasing productivity are often harmful to the environment. To develop an alternative to conventional media, with a sustainable vision, this work seeks to study the influence of plasma treatment on germination and growth of soybean seeds. With this objective, the parameters of comparison taken are the germination test, root and shoot length of seedlings and water. Soybean seeds were plasma treated in an inductively coupled reactor in an atmosphere of atmospheric air, nitrogen and oxygen with treatment times of 15, 60 and 120 seconds. Better germination, root growth and water absorption performances were obtained for the 15 second treatment time for all gases. For this time, the gas that achieved the best results was atmospheric air followed by oxygen and finally nitrogen. In order to compare the results of the tests with the change in the surface of the seeds, after the treatments they were analyzed with an optical microscope at 16 and 32 times zoom. Cracks and more intense surface marks were observed for the treatments of 60 and 120 seconds, being responsible for the worse performance in relation to the time of 15 seconds.

Keywords: Seed; Soybean; plasma in O₂; plasma in atmospheric air; N₂ plasma; germination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estruturas da semente de soja	18
Figura 2 – Semente de soja de alta qualidade	18
Figura 3 – Sementes de soja com doença de final de ciclo.....	19
Figura 4 – Estágios de desenvolvimento da semente de soja	20
Figura 5 - Exemplificação de fases vegetativas	23
Figura 6 - Exemplificação de fases reprodutivas	24
Figura 7 – Plântula de soja com suas estruturas de crescimento	31
Figura 8 – Fluxograma de processo	33
Figura 9 - Sementes de soja sobre papel germitest.....	34
Figura 10– Porta-amostras	35
Figura 11 - Esquematização do reator a plasma	35
Figura 12 – Reator indutivamente acoplado	36
Figura 13 – Câmara de germinação modelo SL-224/I.....	37
Figura 14 – Disposição das sementes para germinação	39
Figura 15 - Exemplo de plântula normal.....	39
Figura 16 – (a) Disposição das sementes para teste de comprimento e (b) Exemplo de medição de comprimento de raiz.....	40
Figura 17 – Resultados de germinação em gás Atmosférico para as condições T0, T1, T2 e T3, respectivamente	42
Figura 18 - Resultados de germinação em gás Nitrogênio para as condições T0, T1 e T2, respectivamente.....	43
Figura 19 - Resultados de germinação em gás Oxigênio para as condições T0, T1, T2 e T3, respectivamente.....	44
Figura 20 - Resultados de germinação comparando os 3 gases de tratamento	45
Figura 21 – Plântulas germinadas para medição do comprimento de raiz (ar Atmosférico)	48
Figura 22 – Plântulas germinadas para medição do comprimento de raiz (gás nitrogênio).....	49
Figura 23 – Plântulas germinadas para medição do comprimento de raiz (Oxigênio).....	50
Figura 24 – Resultados médios do comprimento da raiz para todos os tratamentos.....	51
Figura 25 – Comparação de medias dos resultados de absorção de água para todos os tratamentos.....	54
Figura 26 – Microscopia semente sem tratamento (a) 16x, (b) 32x.....	55
Figura 27 – Microscopia ar atmosférico T1 (a) 16x, (b) 32x.....	55
Figura 28 – Microscopia N2 T1 (a) 16x, (b) 32x.....	56
Figura 29 – Microscopia O2 T1 (a) 16x, (b) 32x.....	56
Figura 30 – Microscopia ar atmosférico T2 (a) 16x, (b) 32x.....	59
Figura 31 – Microscopia N2 T2 (a) 16x, (b) 32x.....	59
Figura 32 – Microscopia O2 T2 (a) 16x, (b) 32x.....	60
Figura 33 – Microscopia ar atmosférico T3 (a) 16x, (b) 32x.....	61
Figura 34 - Microscopia N2 T3 (a) 16x, (b) 32x.....	61
Figura 35 – Microscopia O2 T3 (a) 16x, (b) 32x.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas do estágio vegetativo	22
Tabela 2 - Etapas do estágio reprodutivo	23
Tabela 3 – Descrição dos componentes do reator.....	36
Tabela 4 - Tabela das configurações de tempo dos tratamentos	38
Tabela 5 – Tabela com resultados de germinação	45
Tabela 9 – Resultado comprimento de raiz para gás atmosférico.....	51
Tabela 11 – Resultado de absorção de água para todos os tratamentos	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
MO	Microscópio Ótico
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

He	Hélio
W	Watt
a. a	ao ano
Pa	Pascal
°C	Graus Celsius
cm	Centímetros
mm	Milímetros
s	Segundos
mg	Miligramas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Sementes de soja	17
2.1.1	Caracterização	17
2.1.2	Cultivares	17
2.1.3	Germinação e crescimento	19
2.2	Tratamentos em sementes	24
2.2.1	Tratamento a plasma em sementes	26
<u>2.2.1.1</u>	<u>Parâmetros de processo de plasma</u>	<u>28</u>
2.3	Testes padrões	31
2.3.1	Teste de germinação	31
2.3.2	Vigor e crescimento	32
2.3.3	Absorção de água	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	Fluxo de trabalho	33
3.2	Materiais	33
3.2.1	Papel de germinação	33
3.2.2	Dispositivos experimentais	34
3.3	Tratamentos	37
3.4	Testes em sementes	38
3.4.1	Teste de germinação	38
3.4.2	Comprimento de raiz	39
3.4.3	Absorção de água	40
3.4.4	Microscopia	40
3.5	Análises	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1	Germinação	42
4.2	Comprimento de raiz	47
4.3	Absorção de água	52
4.3.1	Microscopia	54
	CONCLUSÃO	63
	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	64

REFERÊNCIA	65
------------------	----

1 INTRODUÇÃO

A soja é um grão oleaginoso comercializado na forma de grão, farelo, óleo e molhos, sendo utilizado também na produção de rações animais (LAZZAROTTO *et al.*, 2007). O grão apresenta uma tendência de aumento de produção no Brasil com previsão de aumento de aproximadamente 1 milhão de hectares de área semeada para a safra 2021/22 (CONAB, 2021).

A produção nacional de soja está concentrada nas regiões Centro-Oeste e Sul. O Centro-Oeste compreende um total de 81,04% de produção de soja no país. O complexo agroindustrial da soja possui importância socioeconômica expressiva no Brasil, visto que atinge e movimenta diversos agentes e organizações relacionados à pesquisa e desenvolvimento, fornecedores de insumos, fabricantes de maquinários, produtores rurais, entre outros. O setor gera riquezas e empregos, sendo um dos principais contribuintes do desenvolvimento das regiões produtivas do grão no Brasil (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

Desde a década de 1990, o Brasil tem aumentado sua contribuição na exportação mundial de soja, alcançando a marca de 36,9% de participação em 2007. O aumento da oferta do grão pelo Brasil se deu principalmente pelo aumento da área de cultivo resultado dos avanços tecnológicos que acarretaram o aumento da produtividade (LAZZAROTTO *et al.*, 2007). O levantamento feito em junho de 2021 pela CONAB indica que o Brasil sustenta a posição de maior produtor do grão na safra 2020/21 com uma produção de mais de 135 milhões de toneladas, representando 37,3% da produção mundial (CONAB, 2021).

Partindo da definição da importância da produção do grão de soja para a economia mundial, é necessário estabelecer um paralelo entre as estruturas nacionais que condicionaram a produção e exportação do grão para poder entender o processo de crescimento e investimento realizado no setor. Em virtude da importância do setor agrícola no cenário econômico nacional, a agricultura brasileira foi alavancada por meio de políticas públicas nos anos 80, fato que impulsionou as vendas de máquinas agrícolas no período de 1984 a 1987, junto da expansão da terra cultivada (LUCENA; SOUZA, 2001).

Outro ponto relevante para o início da ascensão do mercado nacional de importações dos grãos de soja foi a consolidação dos mecanismos fundamentais através do Tratado de Assunção no início dos anos 1990. Com essa fase de transição

do MERCOSUL, foi estabelecido um mercado comum que fortalecia as negociações e estabelecia uma nova dinâmica para as tratativas apresentadas por Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. (INSTITUTO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS, 2002).

Estabelecido os meios para que houvesse uma maior exposição do mercado nacional de agronegócio resultantes das condições de maior controle de preço, renda e taxas derivadas da instabilidade econômica e a capacidade competitiva do Brasil facilitadas nas ações governamentais em auxílio do produtor e as características territoriais (FIGUEIREDO; SANTOS, 2005).

Porém, o plano real movimentou a economia brasileira em um sentido diferente ao esperado, no setor agrícola de exportações, pelos planos governamentais ao assegurar uma maior estabilidade e valorização da moeda nacional, deteriorando a competitividade dos setores que envolviam transações externas como os grandes exportadores (MELO, 1980).

Novamente, o governo brasileiro realizou uma movimentação em vias de implementar ações para garantir o sucesso nas tratativas de estabelecer um mercado de importações mais robusto e seguro (FEARNSIDE, 2000).

Pensando na competitividade no âmbito comercial, é possível analisar a primeira fase do mercado de exportações nacionais de grãos de soja através da teoria de Krugman e Obsfield (LUCENA; SOUZA, 2001). Quando analisado sob esta ótica, o Brasil teve seu desenvolvimento e crescimento apoiado de diversas vantagens através dos benefícios concedidos pelo governo, mas também tomou parte na corrida tecnológica com a modernização do seu maquinário no início dos anos 2000 (FIGUEIREDO; SANTOS, 2005).

Apoiado dos elementos que configuraram competitividade brasileira no meio internacional, juntamente com a desvalorização da moeda nacional no final de 1998, a indústria de grãos de soja apresentou crescimento dos indicadores de exportação associados a suas vantagens comparativas. Com a isenção do ICMS, o Brasil apresentou um crescimento médio de 2,56% a.a. no período de 1997 a 2002. Com o passar da década, o Brasil foi perdendo suas vantagens comparativas e por isso viu seus competidores apresentarem melhores resultados devido a políticas de incentivo vinda dos países que faziam frente aos números de exportações brasileiras (FIGUEIREDO; SANTOS, 2005).

Com os avanços dos demais países na produção dos grãos de soja, seja devido aos melhores usos das características naturais ou melhores condições comerciais por seus governos, o Brasil viu seus concorrentes apresentando as condições necessárias para a estabilização do mercado internacional. Porém, mesmo com a modernização dos concorrentes, o Brasil segue sendo um dos principais produtores e exportadores de grãos de soja do mundo, sendo acompanhado por Argentina e Estados Unidos (HIRAKURI; LAZAROTTO, 2014).

Para aumentar a produtividade agrícola, são utilizadas algumas metodologias químicas convencionais baseadas no uso de pesticidas e fertilizantes que causam prejuízo ao ecossistema. Com o intuito de contornar este agravante, são conduzidos pesquisas e estudos de novas alternativas para o aumento da produtividade, o não comprometimento do ecossistema e que apresentem viabilidade econômica (BILLAH, M *et al.*, 2020).

Diversas iniciativas foram realizadas para avaliar a influência de tratamentos em sementes sobre a germinação. O tratamento a plasma em sementes é uma alternativa tecnológica que pode estimular o crescimento e atenuar a ação de patogênicos que prejudicam o desenvolvimento das sementes. A eficiência destes tratamentos varia entre diferentes espécimes de sementes, porém estudos indicam a eficácia em propriedades ligadas ao crescimento (RANDENIYA, L. K; GROOT, G. J J. B, 2015).

O efeito do tratamento no aumento da germinação pode ser observado em estudos de diferentes sementes (LEE, Y *et al.*, 2020). Silva (2017) constatou um aumento de até 8 vezes na germinação de sementes de sabiá (*Mimosa Caesalpiniaefolia*) tratadas com plasma de ar atmosférico em relação as não tratadas. Também utilizando o tratamento a plasma de ar atmosférico, Billah (2020) obteve resultados de 76,2 a 86,3% de aumento na germinação de sementes de feijão preto (*Vigna mungo*).

Para o tratamento a plasma oxigênio e nitrogênio em sementes de soja, Pérez-Pizá (2018) obteve resultados que indicam o aumento significativo da germinação e de indicativos de vigor através da absorção de água da semente e diminuição das amostras infectadas. Ling (2014) também realizou estudos voltados ao tratamento a plasma em sementes de soja. O autor obteve resultados de 13,69% de aumento de germinação e 13,77% de aumento médio do comprimento das plântulas.

Ainda que o país seja um dos líderes nas produções mundiais, são realizados diversos estudos de alternativas que façam com que a capacidade produtiva acompanhe o crescimento populacional. Partindo dos avanços considerados tradicionais, como fertilização e irrigação, a avanços tecnológicos, a indústria alimentícia descentraliza a busca por um único objetivo de eficiência e passa a almejar questões de sustentabilidade e qualidade de vida (GHERARDI; PUAC; SHIRATANI, 2017).

Parâmetros sanitários, como controle microbiótico e proteções contra patogênicos, e de qualidade, como extensão de tempo de vida, são pontos cruciais para definir se as tecnologias são viáveis em meios competitivos. A Termoterapia, tratamento com substâncias bioestimulantes e o tratamento a plasma são opções que inserem os tratamentos alimentícios como opções aos meios adotados no mercado tradicional (LAZZAROTTO *et al.*, 2007).

O tratamento a plasma atende boa parte dos parâmetros citados. Apresentando bons resultados quando avaliada a relação da toxicidade em relação a organismos maléficos ao meio ambiente e ao ser humano, se apresenta como uma alternativa viável em questões relacionadas à saúde e qualidade demandadas pelo mercado (GHERARDI; PUAC; SHIRATANI, 2017). Segundo Li Ling *et al.* (2014), o tratamento a plasma é um método rápido, econômico e livre de poluentes. Para o autor, este processo atua como possível método alternativo no aumento da germinação e crescimento na produção de sementes de soja.

Os avanços tecnológicos decorrentes da busca pelo aumento da produtividade fazem o uso de diferentes processos aplicados às sementes. O domínio destes processos se torna um diferencial no mercado, visto à necessidade pela qualidade ligada ao agronegócio e confiabilidade dos processos para atingi-la.

O conjunto da fundamentação teórica e as referências bibliográficas neste presente trabalho buscam inicialmente compreender as particularidades da soja, analisando desde a morfologia da semente quanto a importância do grão em relação ao contexto histórico nacional. Referencia-se algumas alternativas viáveis em tratamentos em sementes de soja e as suas principais características para posteriormente descrever e analisar os benefícios agregados do tratamento a plasma.

Tendo em vista os fatores apresentados, este trabalho buscou definir quais tempos caracterizam melhor desempenho de germinação, crescimento de raiz e absorção de água para as atmosferas plasmáticas de ar atmosférico, nitrogênio e

oxigênio. Foi realizada a microscopia das sementes a fim de analisar as mudanças superficiais e a influência nos resultados se baseando em estudos sobre a fisiologia e atividade metabólica das sementes.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito do tratamento a plasma na germinação e crescimento de sementes de soja. Para o desenvolvimento deste objetivo, foi delineado os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o efeito do tratamento a plasma na textura superficial das sementes
- Avaliar o efeito do tratamento a plasma na absorção de água pelas sementes
- Comparar os resultados de germinação das sementes tratadas com as não tratadas a plasma.
- Comparar os resultados de crescimento das sementes tratadas com as não tratadas a plasma.
- Comparar os diferentes resultados obtidos utilizando plasma de ar atmosférico, oxigênio e nitrogênio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sementes de soja

2.1.1 Caracterização

A soja é o principal grão oleaginoso cultivado no mundo, tendo participação em mais da metade dos grãos produzidos nesta categoria em 2006/7 (LAZZAROTTO *et al.*, 2007). A produção de sementes de soja de alta qualidade é composta de três etapas essenciais, desde o cultivo ao processamento e armazenamento (MOREANO *et al.*, 2013). O processamento das sementes é chamado de beneficiamento e consiste em uma série de operações que tem como objetivo a separação de impurezas (SCHUCH; KOLCHINSKI; FINATTO, 2009). O grão é usado em diversas finalidades, exemplo disso é a sua utilização como matéria prima em rações para alimentação de animais domésticos devido ao seu teor de proteína elevado (40%) e na produção de óleo vegetal (LAZZAROTTO *et al.*, 2007).

O ritmo de crescimento econômico mundial demanda volumes crescentes de soja para atender as necessidades de farelos proteicos utilizados em rações de animais produtores de carne. Outra demanda crescente que utiliza soja são os óleos vegetais, acarretados pelo aumento do consumo em países emergentes. Esta demanda também é impulsionada pelo consumo de biocombustíveis (LAZZAROTTO *et al.*, 2007).

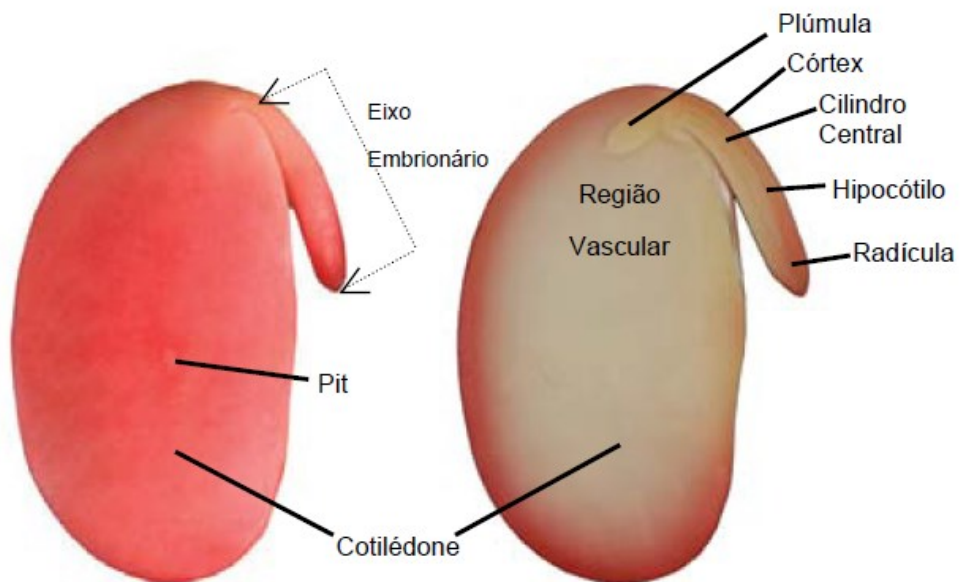
O grão figura como o insumo mais importante na fabricação do biodiesel, sendo responsável por 71.4% da produção em 2020. A EPE (Empresa de Pesquisa Energética) projeta o aumento da participação obrigatória do biodiesel na mistura do diesel fóssil de 12% em 2020 para 15% a partir de meados de 2023. Este crescimento sugere o aumento da demanda pela matéria prima, impactando positivamente o mercado da soja no Brasil (EPE, 2020).

2.1.2 Cultivares

Cultivares são plantas que obtiveram uma alteração ou introdução de uma característica. Como as características da região de cultivo influenciam no desenvolvimento e crescimento da semente de soja, a escolha do cultivar mais adequado para plantio, deve levar em conta as características do ambiente em que a planta será cultivada. A pureza do cultivar é importante para que a semente possa

manifestar suas qualidades agronômicas. A pureza é considerada tanto em fatores físicos quanto genéticos (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2009). A Figura 1 ilustra a estrutura de uma semente de soja e a Figura 2 mostra a aparência externa de sementes de soja de alta qualidade, apresentando coloração uniforme, sem marcas, trincas e quebras. Em contrapartida, a Figura 3 ilustra sementes de soja com doença de final de ciclo, apresentando manchas escuras na superfície da semente além de marcas superficiais. Esta condição causa a redução de produtividade. (Climatedfieldview, 2020)

Figura 1 - Estruturas da semente de soja



Fonte: EMBRAPA (2009)

Figura 2 – Semente de soja de alta qualidade



Fonte: EMBRAPA (2018)

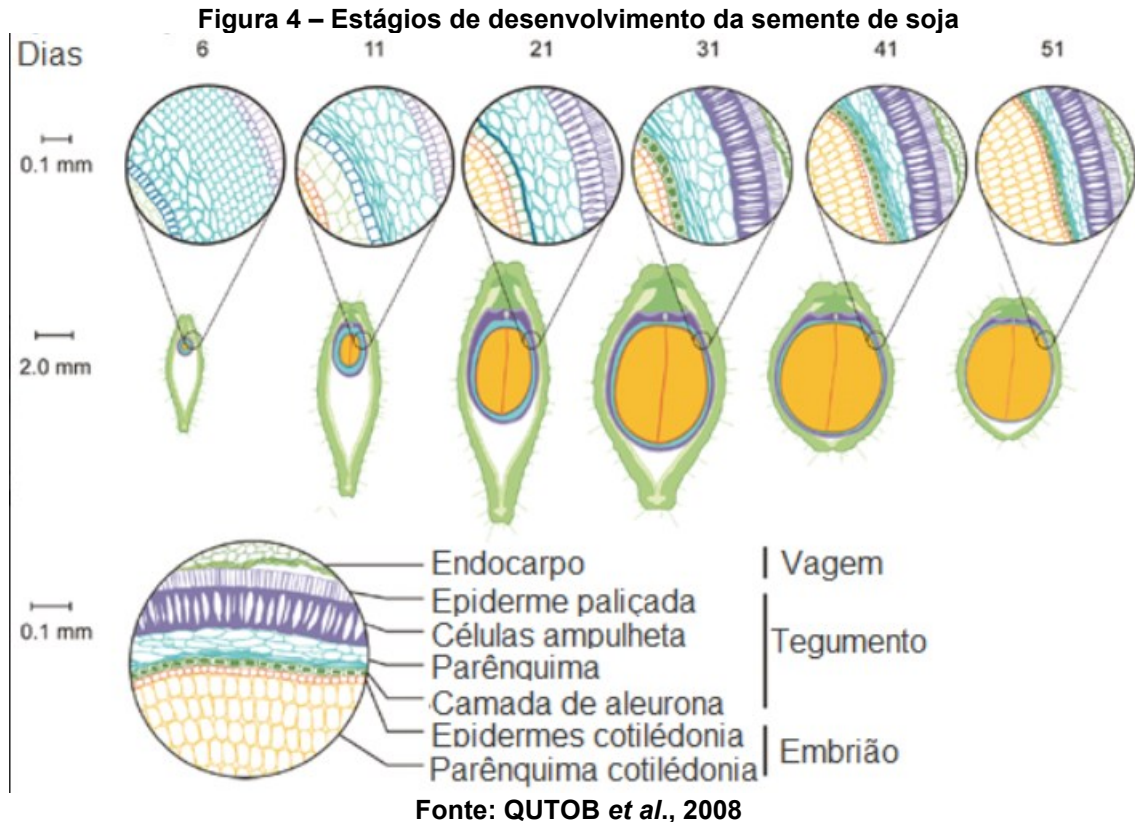
Figura 3 – Sementes de soja com doença de final de ciclo



Fonte: Climatedfieldview (2020)

2.1.3 Germinação e crescimento

Sementes de soja apresentam um processo que necessita de condições básicas para que o embrião consiga se desenvolver e crescer (PEREIRA *et al.*, 2013). Uma importante região para desenvolvimento da semente é a sua superfície, influência na qualidade fisiológica da soja. A Figura 4 demonstra os estágios de desenvolvimento da superfície de uma semente de soja, tegumento, e a descrição das suas regiões (QUTOB *et al.*, 2008).



Durante as fases de germinação, o tegumento fornece não somente a proteção, mas também contribuiu como uma parte da massa final da soja e no fornecimento de nutrientes necessários para o crescimento (QUTOB *et al.*, 2008).

A germinação requer que o meio ao qual a semente está inserida forneça condições ambientais adequadas para que ocorra a reativação do embrião e rompimento do tegumento com geração da planta, para isto, é necessário água, oxigênio, luz e outros nutrientes (FOWLER; BIANCHETTI, 2000).

Dentre os requisitos básicos, a água é um dos principais influenciadores deste processo. Esse nutriente fornece energia de ativação suficiente para que o embrião entre em desenvolvimento ao causar reações químicas necessárias para o andamento do metabolismo da semente (ATAÍDE *et al.*, 2014).

Quando sob efeito de baixos percentuais de água, as reações químicas que afetam o metabolismo se tornam mais lentas podendo chegar à morte da semente por dessecação. Durante o processo de absorção de água, embebição, o tegumento passa pelo processo de amolecimento favorecimento do transporte e assimilação dos nutrientes necessários para que ocorra o processo de atividade respiratório e o crescimento embrionário (GUIMARÃES *et al.*, 2014)

A embebição consiste em três fases diferenciadas pela quantidade de absorção de água e com qualidade fisiológica da semente. Os dois primeiros estágios ocorrem nas 16 primeiras horas, independentemente se a semente está viva ou morta. Durante seu segundo estágio, a absorção de água é reduzida, iniciando um diferente fluxo de transporte de sacarose e aminoácidos indispensáveis para o metabolismo das sementes e por consequência para que ocorra a germinação e crescimento das plântulas (ATAÍDE *et al.*, 2014). Em seu último estágio, a semente precisa estar viva para que o embebição continue durante a fase de acréscimo na taxa de absorção (PESKE, 2011.)

A hidratação da semente depende não somente da disponibilidade de água na qual o meio inserido, mas também da sua composição química e da permeabilidade do tegumento. Para altas velocidades de absorção, a semente pode sofrer com danos à irreparáveis a membrana celular, o que pode afetar a qualidade fisiológica e a germinação da semente (ATAÍDE *et al.*, 2011).

Mesmo com condições aparentemente adequadas para o crescimento, as sementes podem apresentar uma barreira natural que diminui o ritmo de germinação ao longo do tempo. Este mecanismo de aumento de probabilidade de sobrevivência através de um estágio de retenção da germinação é conhecido como dormência (SHU *et al.*, 2015).

Existem duas classificações para a dormência: tegumentar ou embrionária. Para o primeiro caso, mesmo em condições favoráveis, sementes podem não apresentar germinação devido a sua impermeabilidade tegumentar ou do pericarpo à água e oxigênio. Ela também pode ser causada por inibidores externos, interferência nas trocas gasosas por tecidos que circundam o embrião e tecidos que causam impedimento mecânico. Outra classificação para dormência é a embrionária, na qual não existe a ocorrência da germinação no embrião causada pelo contato com cotilédones que atuam como inibidor químico em seu metabolismo (FOWLER; BIANCHETTI, 2000).

Dentre as principais formas de superar dormência, a inserção em água e a escarificação são as mais usuais. A escarificação tem como função diminuir a espessura do tegumento, proporcionando melhores condições para a absorção de água e gases. São necessárias precauções com longos tempos de exposição a escarificação, pois o processo pode não apesar desgastar, mas danificar permanentemente ou inviabilizar o tegumento (FOWLER; BIANCHETTI, 2000).

Para compreender os ciclos de desenvolvimento e aprimorar a cultura da agricultura de soja, é necessário atribuir descrições baseadas nas diferentes épocas dos estádios de crescimento. Para tanto, Fehr e Caviness (1997) unificaram as terminologias e aperfeiçoaram a metodologia descritiva mais utilizada mundialmente.

As etapas de desenvolvimento e crescimento da semente de soja podem ser classificadas em dois diferentes estádios, sendo eles o vegetativo e o reprodutivo (FEHR; CAVINESS, 1997).

Abordando os estádios vegetativos, denominados por “V”, são utilizadas marcações fixas durante o desenvolvimento da semente para sua classificação. Toma-se o nó superior da haste como ponto de identificação e demarcação das diferentes fases presentes neste estágio (SEIXAS *et al.*, 2020). Os estádios são observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Etapas do estágio vegetativo

Estádio	Denominação
VE	Emergência
VC	Cotilédone
V1	Primeiro nó
V2	Segundo nó
V3	Terceiro nó
V4	Quarto nó
V5	Quinto nó
V...	...
Vn	Enésimo nó

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2020)

Cada estágio apresenta características próprias, sendo em sua maioria baseadas na separação das folhas trifoliadas. Porém, no caso do estágio vegetativo emergencial (VE), sua diferenciação ocorre com a emergência de uma plântula (FEHR; CAVINESS, 1997). Alguns exemplos de classificação baseadas no comprimento entre a base e a folha trifoliada podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5 - Exemplificação de fases vegetativas



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2020)

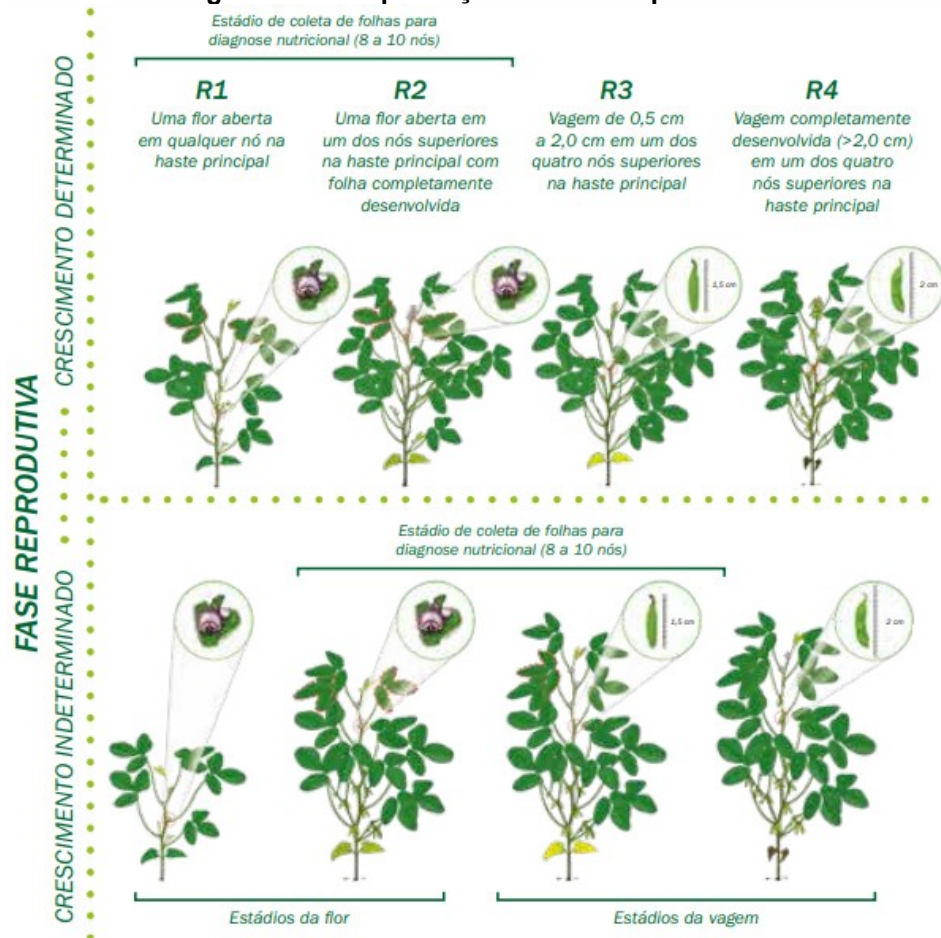
Em relação ao segundo estágio, denominado por estágio reprodutivo (abreviado por "R"), são baseados nas etapas de crescimento e maturação. Suas divisões categóricas não ocorrem pelo crescimento do nó e destacamento das folhas trifoliadas, mas sim pelo desenvolvimento de grãos e florescimento (FEHR; CAVINESS, 1997). Algumas exemplificações são observadas na Figura 6, enquanto os estádios reprodutivos são enunciados na Tabela 2.

Tabela 2 - Etapas do estágio reprodutivo

Estádio	Denominação
R1	Início do florescimento
R2	Florescimento pleno
R3	Início da formação de vagens
R4	Vagens completamente desenvolvidas
R5	Início do enchimento dos grãos
R6	Grãos cheios ou completos
R7	Início da maturação
R8	Maturação plena

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2020)

Figura 6 - Exemplificação de fases reprodutivas



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2020)

Para as sementes de soja, são utilizadas duas classificações de tipos de crescimento: Determinado e indeterminado (FEHR; CAVINESS, 1997).

Em crescimento determinado, existe uma padronização de diversas fases e componentes durante os estádios. O florescimento e tamanho de folhas são uniformes nos diferentes pontos da planta, além de apresentar um longo racemo central ao fim do caule. Para o indeterminado, denota-se principalmente a não uniformidade nos crescimentos de folhas e florescimento, além do local do crescimento dos grãos (SEIXAS *et al.*, 2020).

2.2 Tratamentos em sementes

Com o crescimento exponencial da população mundial, recursos limitados passam a ser observados e controlados mais atentamente. Com o aumento na demanda da água, energia elétrica e alimentos, pesquisas que buscam maiores eficiências na sua aquisição passam a ser o novo foco. Considerando os avanços tecnológicos, foi necessário encontrar alternativas que não apenas tivessem influência

em produtividades e eficiências, mas que estivessem também voltadas às questões de sustentabilidade e qualidade de vida (GRUN; GUNTHER, 1991).

Pragas e doenças associadas às sementes são problemas enfrentados nos cultivos agrícolas. Métodos de combate podem despende pesados investimentos e muitas vezes possuem reflexos negativos para o meio ambiente. Vê-se necessário, a busca por métodos de controle cada vez menos danosos ao meio ambiente, a fim de construir um cenário futuro sustentável (MACHADO *et al.*, 2000).

O estudo feito por Rhoden *et al.* (2000) mostra tendência de aumento da demanda mundial da soja, tanto como grão, farelo e óleo. Demanda içada principalmente pela Ásia, Europa e América. Neste cenário, é salientado a importância do desenvolvimento de métodos e tecnologias para aumento da produtividade do grão de soja.

Buscando atingir esses novos parâmetros na agricultura e produções alimentícias, foram utilizadas algumas metodologias baseadas em tratamentos térmicos e químicos (BRASOVEANU *et al.*, 2013).

Tratamentos com bioestimulantes são métodos químicos que utilizam substâncias caracterizadas pelo efeito positivo no crescimento de plantas, efeito este, ligado à aplicação de algum ativo como micronutriente, substância húmica e hormônio sintético (SILVA; OLIVEIRA; NERES, 2018)

Experimentos conduzidos em sementes de soja concluíram que o uso de substâncias bioestimulantes tiveram resultado positivo no aumento da germinação e crescimento inicial de plântulas (SILVA; OLIVEIRA; NERES, 2018)

Por sua vez, a termoterapia é um tratamento térmico que consiste em expor as sementes sob a ação do calor por um período de tempo. A eficácia deste tipo de tratamento para o controle de patógenos em sementes de soja já foi demonstrada em estudos realizados por Coutinho *et al.* (2007). Porém, este método apresentou uma redução na germinação com base no aumento do tempo de exposição das sementes em água aquecida a $40 \pm 1^\circ\text{C}$ (COUTINHO *et al.*, 2007).

Dentre os tratamentos térmicos, existem aqueles que fazem o uso de atmosfera controlada. Este controle atmosférico possibilitou influenciar alguns parâmetros no tratamento em sementes, como controle microbiótico, proteção contra patógenos, germinação e fertilização, além dos cuidados com o ecossistema (BRASOVEANU *et al.*, 2013).

O Tratamento a plasma, ou tratamento em descarga luminescente anormal, é um processo termoquímico que oferece benefícios com a flexibilização na parametrização da atmosfera de tratamento (JUNIOR, 2001). Comumente conhecido como o quarto estado da matéria, o plasma, é constituído por: íons positivos e negativos; elétrons; átomos e moléculas excitados ou não (BROKMAN; TULER, 1980).

Quando realizado em alimentos, o tratamento a plasma tem impacto em duas interfaces de produção. A produção primária é composta pelas etapas de plantação, cultivo, colheita e a secundária, por sua vez, é com o pós-processamento dos alimentos (BRASOVEANU *et al.*, 2013).

Para alimentos pós-processados, o tratamento a plasma também garante algumas vantagens competitivas principalmente nas áreas de saúde e qualidade. O tratamento garante características interessantes em relação a contração de microrganismos maléficos aos alimentos, podendo eliminar agentes patológicos que implicam em menores indicadores de qualidade ao consumidor final (GHERARDI; PUAC; SHIRATANI, 2017).

2.2.1 Tratamento a plasma em sementes

Ao abordar a produção primária de sementes quando submetidas a uma atmosfera de plasma, é possível ter um controle sobre os patogênicos presentes como bactérias e fungos, como também aumentar os percentuais de germinação e fertilização das sementes (GHERARDI; PUAC; SHIRATANI, 2017).

O tratamento termoquímico também implementa outros benefícios relacionados a questões de qualidade, como o controle de insetos e a degradação de micotoxinas. Quando utilizado como componente na atmosfera, o oxigênio impacta na diminuição percentual da interação com pragas externas e na degradação de micotoxinas. Este segundo aspecto demonstra a importância quando analisada uma das premissas da evolução tecnológica, o aspecto da saúde dos consumidores. Altos níveis de micotoxinas em sementes acarretam efeitos tóxicos em animais e nos seres humanos, levando a problemas nos rins, fígado e cérebro (GHERARDI; PUAC; SHIRATANI, 2017).

Economicamente o processo também se revela interessante. A possibilidade de implementação através da utilização de gases, o impacto reduzido ao meio ambiente e o efeito extensivo no tempo de vida dos alimentos são características

positivas do tratamento termoquímico por plasma. Mesmo existindo mudanças biológicas e químicas estruturais referentes à interação das espécies presentes no plasma com os compostos orgânicos, estas se mostram não prejudiciais à qualidade do produto final. Não acarretam potencial toxicológico, segurança do consumidor e não apresentam níveis elevados de poluição (BRASOVEANU *et al.*, 2013).

Estudos de tratamento a plasma em sementes sugerem que esta metodologia tem potencial em estimular a permeabilidade superficial, o que acarreta um aumento na germinação. Ao utilizar uma mistura de gases composta por 20% oxigênio e 80% de nitrogênio, Lo Porto *et al.* (2019) obteve um aumento de 17% na germinação de sementes de aspargo. Os resultados de germinação são apresentados na Figura 7. Baseados em seus resultados, os autores sugerem que atmosferas oxidantes causam mudanças na superfície das sementes. Esta mudança consiste na erosão superficial e aumento do potencial hidrofílico, elevando o seu potencial de absorção de água.

Figura 7 – Germinação Aspargo Lo Porto

	Germinação(%)
Controle	65
Plasma O ₂ -N ₂ 60s	82

Fonte: Adaptado de LO PORTO et al. (2019)

Péres-Pizá *et al.* (2018) realizou tratamentos em sementes de soja utilizando atmosferas com mistura de oxigênio e nitrogênio. O estudo buscou aumentar a qualidade das sementes. A avaliação dos resultados consistiu na análise da peroxidação lipídica e de fitormônios em sua superfície. Através dos resultados de sua pesquisa, os autores verificaram que a ocorrência da oxidação da superfície das sementes provoca o aumento da absorção de água, o que corrobora as análises feitas por Lo Porto *et al.* (2019). A oxidação superficial, acarretando o aumento da absorção de água, contribuiu com o aumento da germinação e do vigor das sementes (PÉREZ-PIZÁ *et al.*, 2018).

Da mesma forma, estudos feitos por Ling *et al.* (2014) fortalecem estas linhas de pesquisa, evidenciando o aumento significativo da germinação, vigor e crescimento em algumas condições de testes realizados utilizando o tratamento a plasma. Os resultados obtidos por Lor Ling et al. (2014) são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de germinação de Ling *et al.* (2014)

	Germinação (%)
Controle	82,2±2,93
T1	85,6±2,94
T2	90,0±1,58
T3	82,22±2,23
T4	81,1±4,02

Fonte: Adaptado de Ling *et al.* (2014)

2.2.1.1 Parâmetros de processo de plasma

Embora o mecanismo do processo de ativação do tratamento a plasma seja conhecido, não existe a garantia que o tratamento e os produtos derivados tenham replicabilidade sem considerar os diversos parâmetros de trabalho que regem as condições de cada operação (GRUN; GUNTHER, 1991).

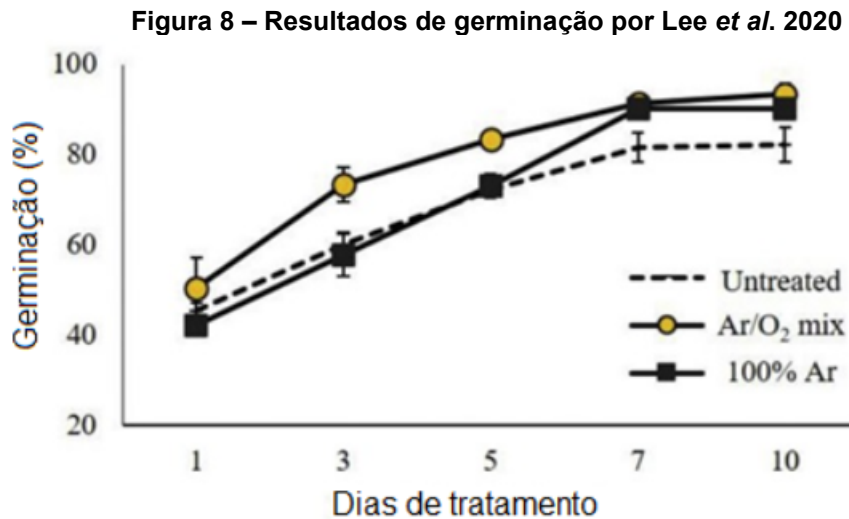
Mesmo que a influência dos parâmetros que regem o processo participe em conjunto para implicar os efeitos desejados, tendo diferentes correlações e interações entre si, é possível compreender individualmente suas participações nas reações causadas no tratamento (GRUN; GUNTHER, 1991).

Analisando a utilização siderúrgica do plasma, os parâmetros influenciam diretamente nas propriedades mecânicas atingidas pós-tratamento (PYE, 2003). As propriedades finais do processamento em alimentos da mesma forma. Quando realizada em sementes, o processo consegue modificar alguns parâmetros específicos do grão tratado, como a germinação e crescimento (GRUN; GUNTHER, 1991).

Um dos principais parâmetros a ser analisado é a composição química da mistura gasosa que é injetada. Quando rico quimicamente, a solução pode acentuar algumas propriedades importantes nos materiais tratados. Junto às propriedades de densidade plasmática, tempo de tratamento e baixa pressão, a combinação dos gases presentes no vácuo afeta diretamente o aumento ou diminuição da germinação em sementes (GHERARDI; PUAC; SHIRATANI, 2017).

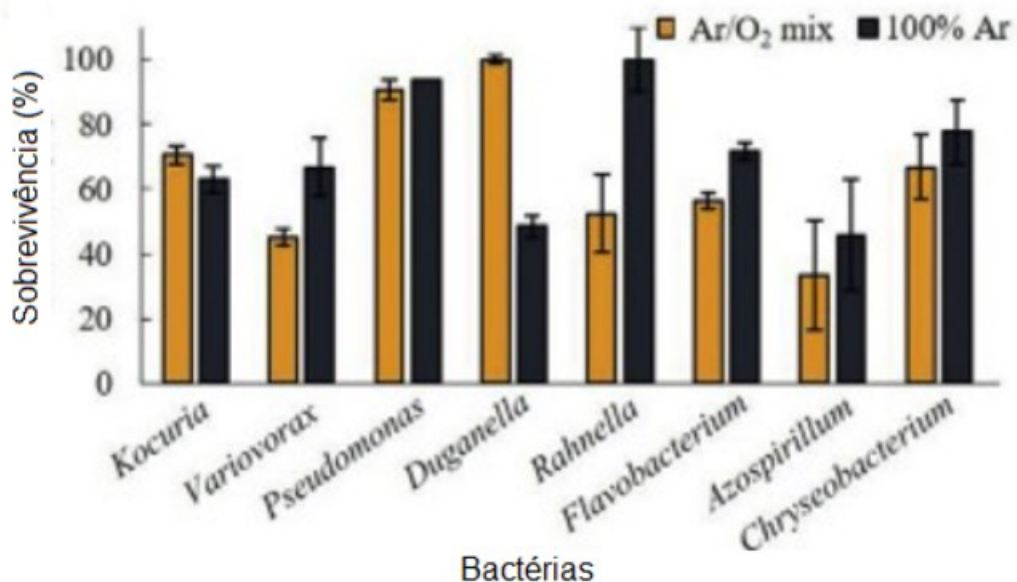
Misturas que apresentam argônio, oxigênio e tetrafluoreto de carbono (CF₄), são comumente utilizadas em processos que apresentem melhoras nos indicadores de qualidade da germinação e velocidade de crescimento da semente (GHERARDI; PUAC; SHIRATANI, 2017). Estudos realizados por Lee *et al.* (2020) obtiveram diferenças significativas em germinação, esterilização e sobrevivência de bactérias e

patogênicos quando tratadas por plasma com uma mistura gasosa de argônio e oxigênio. A Figura 8 mostra os resultados de germinação pelos dias de tratamento e a Figura 9 ilustra os resultados de sobrevivência de bactérias obtidos por Lee *et al.* (2020)



Fonte: Lee *et al.* (2020)

Figura 9 – Sobrevivência de bactérias por Lee *et al.* (2020)



Fonte: Lee *et al.* (2020)

Em processos com alta temperatura, para algumas aplicações siderúrgicas, ou processos de baixa pressão, aplicado ao núcleo alimentício, é estabelecida uma baixa e ampla densidade de plasma. Este fator proporciona um aquecimento lento e

uma boa estabilização do arco voltaico, além da ocorrência de plasma de boa qualidade. Para processos em sementes, Li Ling *et al* (2014) define pressões de 150 Pa.

Tratamentos a plasma em sementes de soja utilizados em temperaturas menores, como ambiente e não térmicos (NTP), agregam benefícios ao objeto de estudo. Pérez-Pizá *et al* (2019) indica, através da sua pesquisa, que nessas condições é possível atingir uma rica atmosfera plasmática reativa e não destrutiva em superfícies biológicas.

Estas aplicações também apresentam uma baixa abrangência para geometrias complexas, demonstrando uma aplicação deficiente em contornos e baixa penetração de compostos químicos. Estas desvantagens podem ser contornadas com uma elevação da pressão, todavia para sementes deve-se avaliar a necessidade caso a caso, devido às baixas dificuldades geométricas (GHERARDI; PUAC; SHIRATANI, 2017).

Para contornar a elevação da pressão em geometrias mais complexas, uma proposta de solução consiste em uma melhor disposição do cátodo fornecendo assim uma maior área de exposição. Na aplicação em grãos, é comum a utilização de espaçamento entre os espécimes devido a necessidade de uma operação em baixas pressões (BRASOVEANU *et al.*, 2013).

Buscando a obtenção de melhores percentuais de germinação e velocidade de crescimento, são utilizados tratamentos com potências menores que as utilizadas em tratamentos siderúrgicos. Para melhores resultados, a faixa de potência utilizada se concentra em tratamentos de até 200 W, como em casos das sementes de cevada, 100 W, e sementes de milho, 200 W. Para aplicações em sementes de soja, a melhor faixa de eficiência e obtenção dos resultados baseia-se em 80 W com frequências de 13.56 MHz (LING *et al.*, 2014).

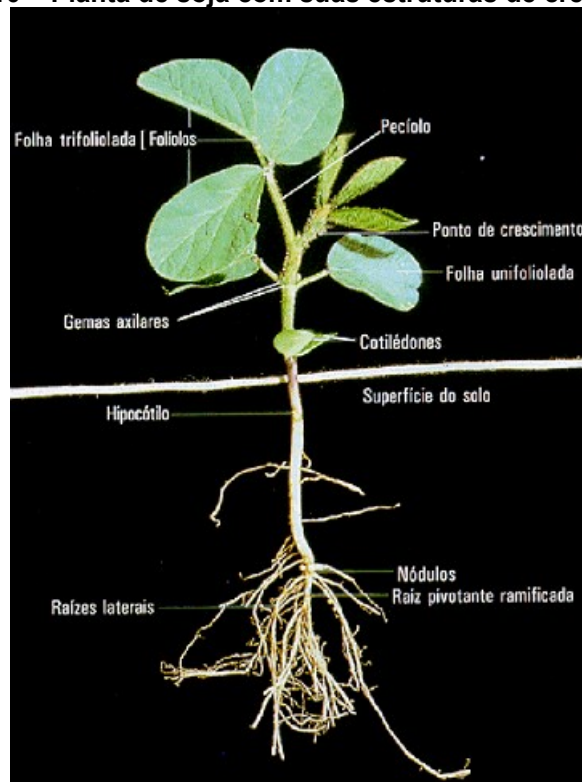
O tempo de tratamento influencia diretamente nos parâmetros de germinação e crescimento em sementes de soja. Para os autores Pérez-Pizá *et al* (2019) e Li Ling *et al* (2014), o processo atinge resultados significativos utilizando tempos entre 15 segundos a 180 segundos de irradiação.

2.3 Testes padrões

2.3.1 Teste de germinação

A germinação é representada pela porcentagem de sementes que produziram plântulas normais em condições especificadas. A caracterização de plântulas normais se dá em uma das seguintes categorias: plântulas intactas; plântulas com pequenos defeitos e; plântulas com infecção secundária. Plântulas intactas são as que possuem suas estruturas essenciais completas, sadias e proporcionais. Plântulas com pequenos defeitos possuem um equilíbrio satisfatório no seu desenvolvimento quando comparadas com plântulas intactas. Plântulas com infecção secundária são aquelas que sofreram deterioramento decorrente de pragas, porém é identificado que a infecção não é decorrente da própria semente e ela apresenta todas as suas estruturas essenciais (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2009), a Figura 10 ilustra a estrutura de uma planta intacta de soja.

Figura 10 – Planta de soja com suas estruturas de crescimento



Fonte: FAEF (2000)

De acordo com as Regras para Análise de Sementes (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2009), existem condições padrões para testes de germinação de sementes. Estas condições dizem respeito ao substrato, a temperatura ambiente, a

duração do teste e informações adicionais para cada tipo de semente. Para a soja, é recomendado o uso do substrato de papel de germinação ou areia. Caso o teste seja realizado em papel de germinação, ele deve ser umedecido com 2,5 vezes o seu peso em água e a semeadura deve ser feita entre duas ou mais folhas de papel. Com relação à temperatura, pode-se fixar a temperatura em 25 ou 30° C. A contagem da porcentagem de germinação é feita duas vezes, sendo uma primeira em 5 dias e a contagem final após 8 dias do plantio. É recomendado um espaçamento baseado em 1,5 a 5 vezes o comprimento ou diâmetro das sementes.

2.3.2 Vigor e crescimento

Os testes de vigor têm como objetivo evidenciar o potencial de desenvolvimento de uma semente sob condições que não são otimizadas para a sua espécie. Testes de vigor são comumente utilizados para caracterização da qualidade de lotes de sementes e estimar possíveis cenários de colheita sobre variadas condições de cultivo (MARCOS-FILHO, 2015).

Uma maneira de se avaliar vigor em sementes, é por meio de testes baseados no desempenho de plântulas. Sendo alguns deles, o comprimento de raiz, comprimento de parte aérea e massa seca de plântulas. Os testes para avaliação de vigor não são objetivos no sentido de mensurar o potencial de sementes mas possuem contribuição direta na caracterização de diferenças entre lotes e tomadas de decisões. É indicado o uso de mais de um teste como indicativo de vigor (MARCOS-FILHO, 2013).

2.3.3 Absorção de água

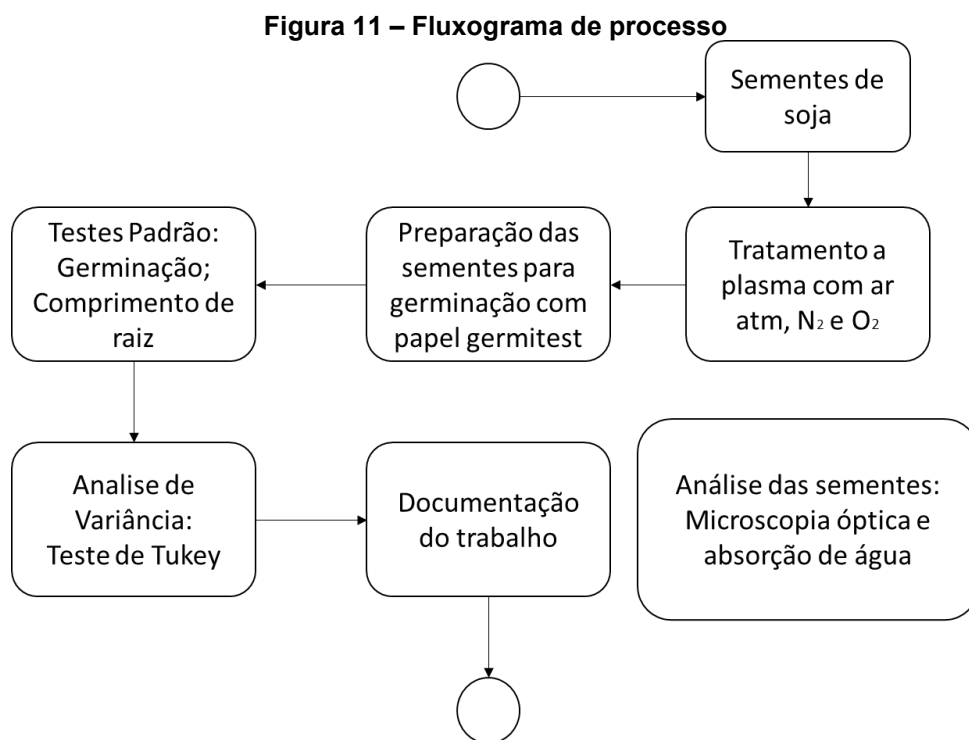
Estudos sugerem que a absorção de água das sementes possui uma associação indireta com a germinação (LEE *et al.* 2020). Esta relação também é sugerida entre outros pesquisadores. Lo Porto *et al.* (2019) e Pérez-Pizá *et al.* (2018) apontam a ligação entre a elevação dos resultados de germinação com tratamentos que aumentaram a absorção de água das sementes.

Lo Porto *et al.* (2019) avalia a absorção de água das sementes através da diferença relativa de peso entre sementes tratadas e não tratadas após submersão em água. Pode-se utilizar diferentes tempos de submersão a fim de contemplar diferentes condições.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Fluxo de trabalho

A metodologia proposta neste trabalho pode ser observada no fluxograma apresentado na Figura 11. Após a aquisição das sementes, foi realizado o tratamento a plasma. Seguindo o fluxo, parte das sementes foram preparadas com papel germitest e dispostas para germinação. As sementes germinadas passaram por testes de germinação, medições de comprimento e absorção de água, após isto foram sujeitas a análise de variância. Paralelamente, as sementes que não foram germinadas, passaram por análises de microscopia logo após o tratamento.



Fonte: Os autores

3.2 Materiais

3.2.1 Papel de germinação

O substrato utilizado para cultivo das sementes é o papel germitest, um papel toalha específico para germinação. Cada papel germitest possui uma superfície de 28 x 380 cm, formado por uma estrutura aberta e porosa, sendo isento de detritos, impurezas, fungos e bactérias. A Figura 12 ilustra o cultivo de sementes utilizando o papel germitest.

Figura 12 - Sementes de soja sobre papel germitest



Fonte: Os autores

3.2.2 Dispositivos experimentais

Para a realização do tratamento a plasma nas sementes de soja, foi utilizado um reator indutivamente acoplado. A alimentação de energia foi realizada por uma fonte de radiofrequência. Os gases foram inseridos no reator pela abertura da válvula de entrada enquanto sua mistura é controlada por fluxímetros. A pressão de gases foi controlada manualmente pela válvula de saída da bomba de vácuo e seu monitoramento foi realizado pelo sensor de pressão do tipo Pirani.

A inserção das sementes no reator foi feita com o auxílio de um porta-amostras acoplado a um termopar para monitoramento da temperatura próximo à superfície das sementes. O porta-amostras e a entrada para o termopar podem ser observados na Figura 13.

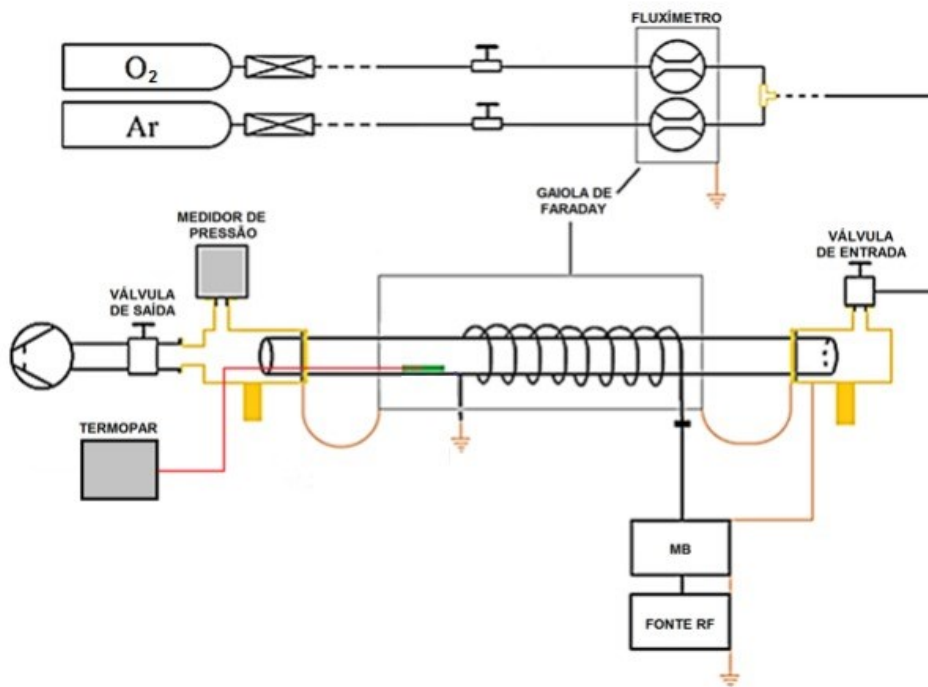
Figura 13– Porta-amostras



Fonte: Os autores (2021)

A abertura de plasma foi realizada através de uma bobina que se encontra em volta de um tubo de quartzo. Esta região apresenta maiores temperaturas, por este motivo, o porta-amostras foi alojado na região de pós descarga para que a temperatura do tratamento seja mantida próxima a do ambiente. Esta região é localizada entre a bobina e a válvula de saída. O esquema do reator é representado na Figura 14.

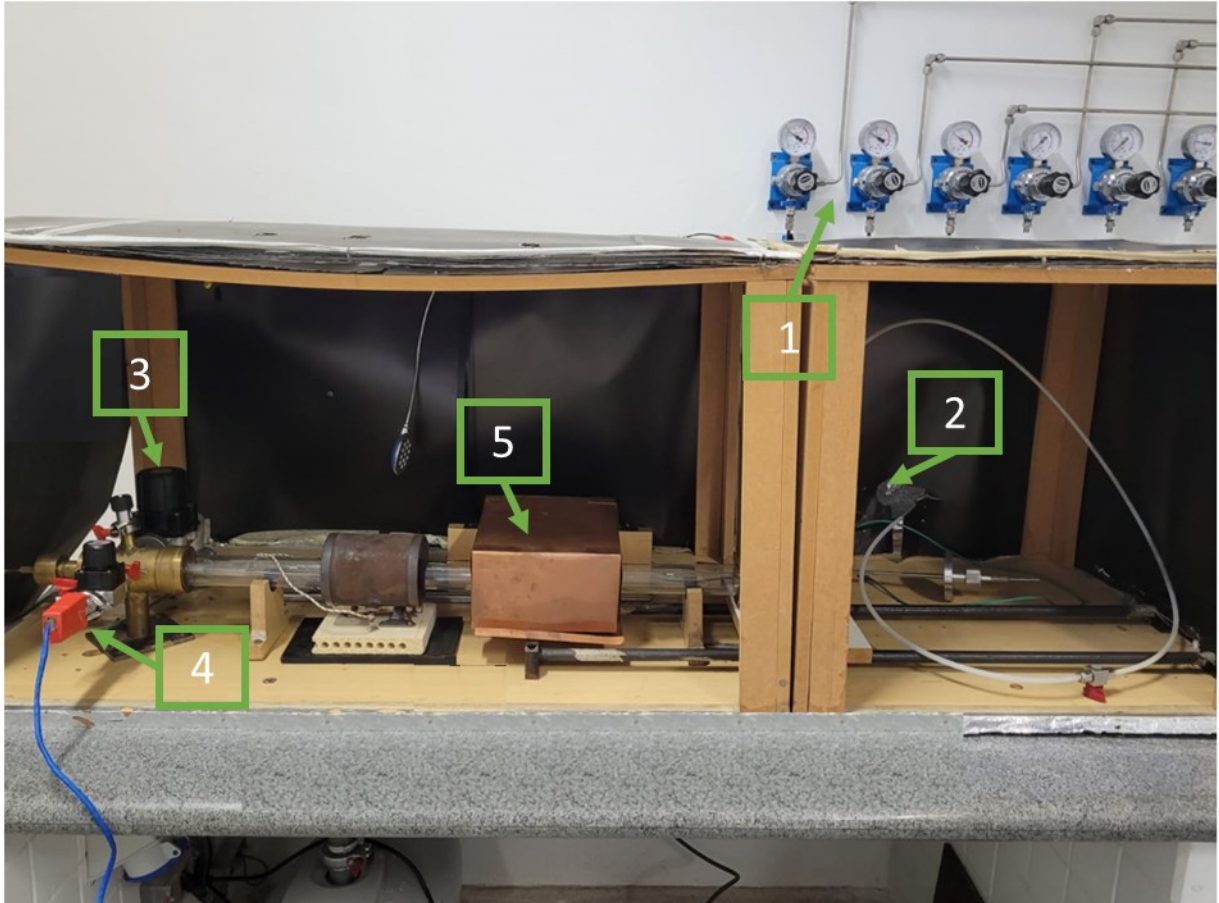
Figura 14 - Esquemática do reator a plasma



Fonte: Adaptado de Farias (2013)

Para este processo, foi utilizado o dispositivo disponibilizado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). O reator é ilustrado na Figura 15 e seus componentes são listados na Tabela 4

Figura 15 – Reator indutivamente acoplado



Fonte: Os autores (2021)

Tabela 4 – Descrição dos componentes do reator

Item	Descrição
1	Fluxímetros
2	Válvula de entrada
3	Válvula de saída
4	Medidor de pressão
5	Gaiola de Faraday com bobina interna

Fonte: Os autores (2021)

Para a germinação das sementes foi utilizado uma câmara de germinação da marca Solab modelo SL-224/I com especificações de temperatura entre -10 à 60°C e variação de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. O modelo SL-224/I é ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Câmara de germinação modelo SL-224/I



Fonte: solabcientifica

3.3 Tratamentos

Inicialmente, foi realizada uma triagem inicial para a seleção das amostras fornecidas. Para os tratamentos, foram selecionadas apenas sementes que não apresentaram trincas ou marcas superficiais.

Foram formadas 10 cargas de 28 amostras para cada tempo de tratamento para os gases atmosférico e nitrogênio e 15 cargas de 28 amostras para o gás oxigênio, totalizando 2940 sementes tratadas. A Tabela 5 ilustra as configurações de tratamento realizadas. Durante a germinação, foi observada uma anomalia nas sementes tratadas com nitrogênio para o tempo de tratamento de 200 segundos (T3). Este fator está relacionado a proximidade de fonte luminosa no armazenamento das amostras, causando uma secagem acelerada no envoltório, papel germitest, e com isso a falta de água durante o cultivo. Sendo assim, a fim de garantir a coerência dos resultados, o tratamento T3 foi desconsiderado para o gás nitrogênio.

Tabela 5 - Tabela das configurações de tempo dos tratamentos

Configuração	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Pressão (Pa)	Potência (W)	Composição
T1	15	22	150	80	O ₂
T2	60	22	150	80	O ₂
T3	120	22	150	80	O ₂
T1	15	22	150	80	Ar Atmosférico
T2	60	22	150	80	Ar Atmosférico
T3	120	22	150	80	Ar Atmosférico
T1	15	22	150	80	N ₂
T2	60	22	150	80	N ₂

Fonte: Os autores (2021)

3.4 Testes em sementes

Após o tratamento, as sementes foram recolhidas para a preparação das amostras. O substrato de papel germitest foi previamente umedecido utilizando 2,5 vezes o seu peso em água destilada. Foram preparadas amostras para o teste de germinação, comprimento de raiz e absorção de água.

3.4.1 Teste de germinação

Os testes de germinação foram conduzidos com 1 amostra de 50 sementes para os tratamentos com ar atmosférico e gás nitrogênio enquanto para o tratamento com gás oxigênio, foram preparadas 3 amostras de 50 sementes. As sementes de soja foram dispostas no papel germitest umedecido. Em seguida, foram cobertas por uma camada adicional de papel germitest e colocadas no germinador em uma temperatura de 25°C. A disposição das sementes para o teste de germinação é mostrada na Figura 17.

Figura 17 – Disposição das sementes para germinação



Fonte: Os autores

A contagem das quantidades de plântulas normais foi realizada após 5 e 8 dias respectivamente. A ilustração de uma plântula normal pode ser observada na Figura 18.

Figura 18 - Exemplo de plântula normal



Fonte: Os autores (2021)

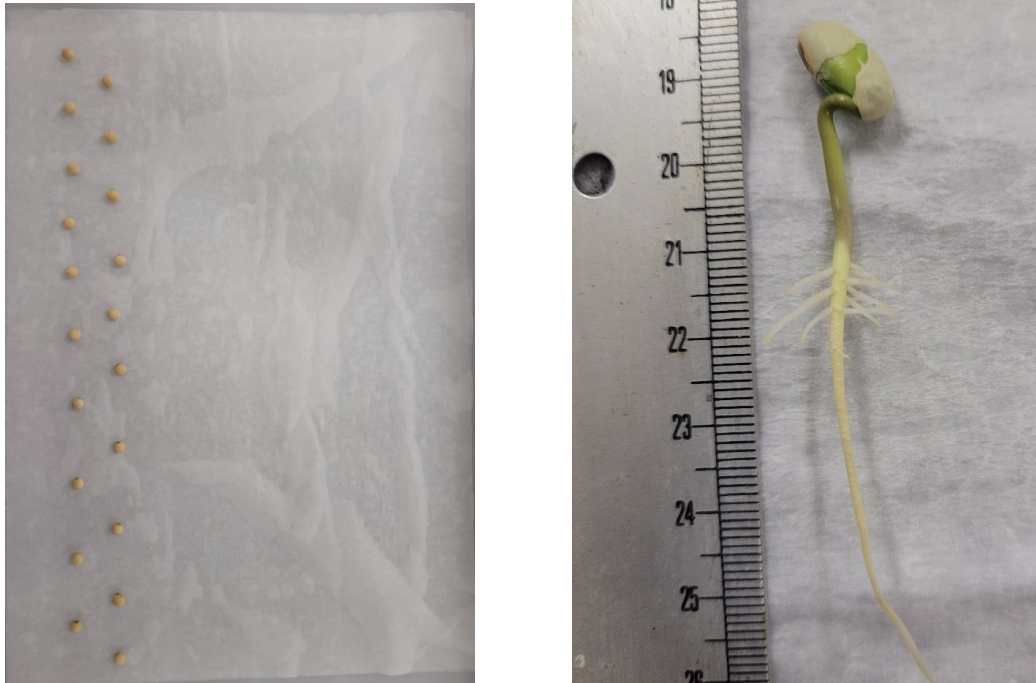
3.4.2 Comprimento de raiz

Para medição do comprimento de raiz e parte aérea, foi conduzida 3 amostras de 24 sementes. A preparação das amostras foi feita da mesma forma que para o teste de germinação.

A medição dos comprimentos foi realizada após 5 dias com auxílio de uma escala. A escala foi fixada em uma mesa e o comprimento da raiz foi medido sobre

ela. A disposição das sementes para o teste de comprimento e um exemplo de medição de comprimento de raiz pode ser observada na Figura 19.

Figura 19 – (a) Disposição das sementes para teste de comprimento e (b) Exemplo de medição de comprimento de raiz



Fonte: Os autores

3.4.3 Absorção de água

Foram preparadas 3 amostras de 24 sementes para cada tempo de tratamento a plasma. As sementes foram pesadas, submergidas em água deionizada por 30h e deixadas para secar em uma estufa a 25°C durante 10min. Após nova pesagem, a absorção de água foi tomada com base na diferença percentual relativa entre o peso das sementes antes e após submersão.

3.4.4 Microscopia

Foi utilizado o microscópio óptico (MO) com aumento de 16 e 32 vezes para realizar a análise da superfície das sementes. As amostras foram formadas por 2 sementes de cada tempo de tratamento. Durante a microscopia, foi investigado a ocorrência de contrastes superficiais.

3.5 Análises

Os resultados médios foram comparados utilizando o teste de tukey ao nível de probabilidade de 5%.

A avaliação da germinação foi feita com a comparação dos resultados do teste de germinação enquanto os resultados provenientes dos testes de comprimento e absorção de água foram utilizados para avaliação do crescimento e indicativos de alteração do vigor da semente.

Os contrastes observados na microscopia ótica foram associados com os resultados de germinação, comprimento e absorção de água a fim de aferir hipóteses sobre o desempenho fisiológico, envoltório e dormência das sementes em função das alterações da superfície decorrentes dos tratamentos realizados.

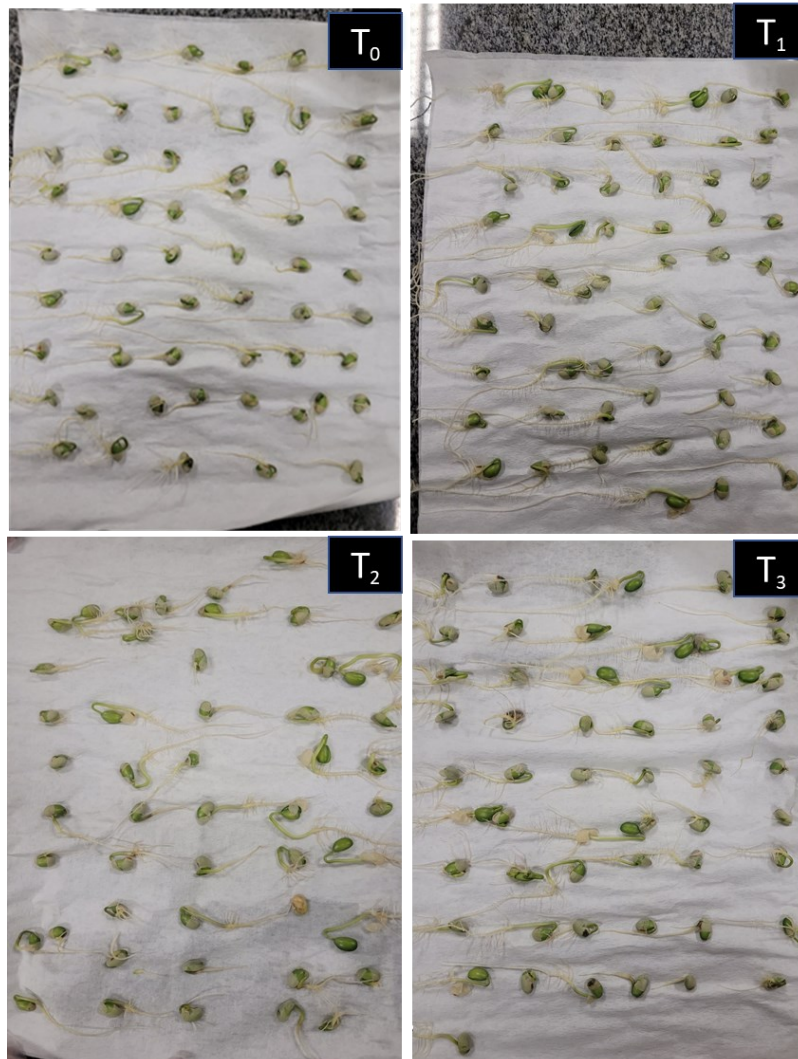
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante esta seção, os resultados experimentais obtidos através do tratamento a plasma em sementes de soja são apresentados e discutidos. Para cada categoria de gás e tempo de tratamento, é apresentada a análise dos procedimentos do teste de germinação, comprimento de raiz, absorção de água e microscopia.

4.1 Germinação

Para o gás atmosférico, foram utilizadas 200 sementes de soja distribuídas dentre os 4 grupos de controle de tempo de tratamento à plasma. Após o quinto dia, a germinação das sementes de soja pode ser observa na Figura 20.

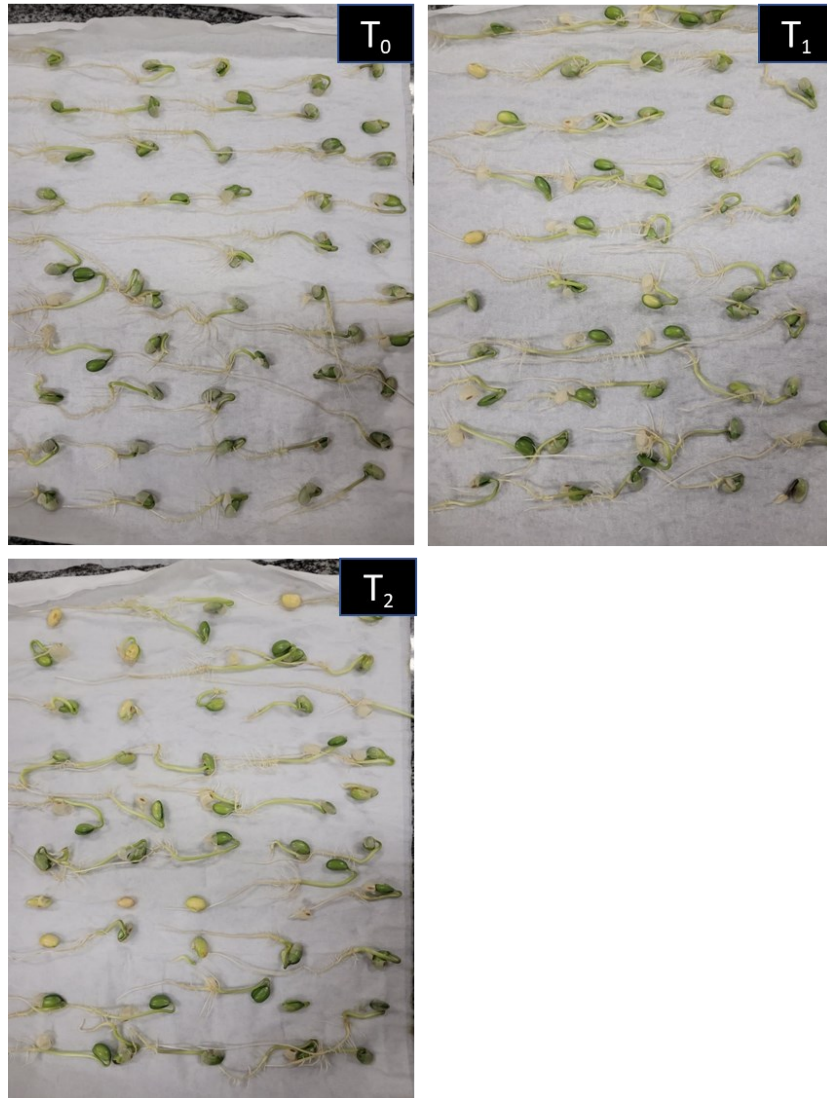
Figura 20 – Resultados de germinação em gás Atmosférico para as condições T0, T1, T2 e T3, respectivamente



FONTE: Os autores

Da mesma forma que o ar atmosférico, a amostragem para o nitrogênio foi de 4 grupos de 50 sementes para cada tratamento térmico à plasma. O resultado da germinação no 5º dia para o ar atmosférico é mostrado na Figura 21.

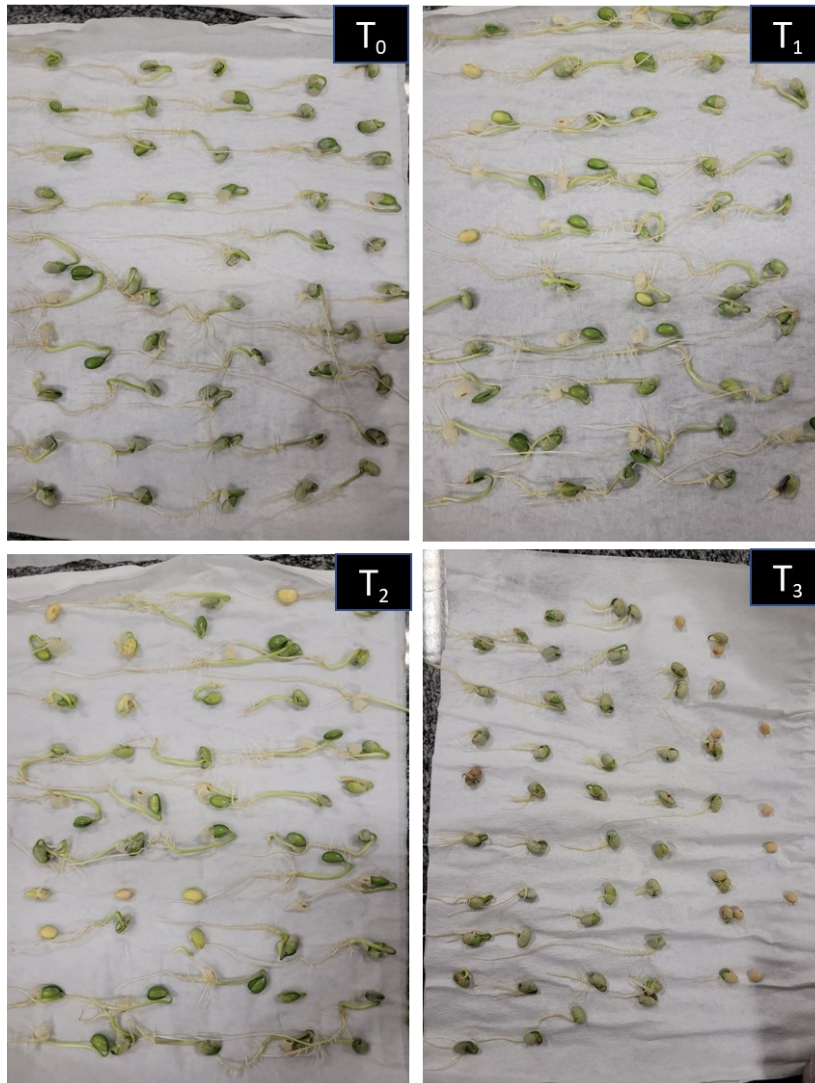
Figura 21 - Resultados de germinação em gás Nitrogênio para as condições T0, T1 e T2, respectivamente



Fonte: Os autores

A germinação para o tratamento com oxigênio foi feita com 3 amostras de 50 sementes para cada tempo de tratamento. A Figura 22 mostra uma amostra de cada tempo.

Figura 22 - Resultados de germinação em gás Oxigênio para as condições T0, T1, T2 e T3, respectivamente



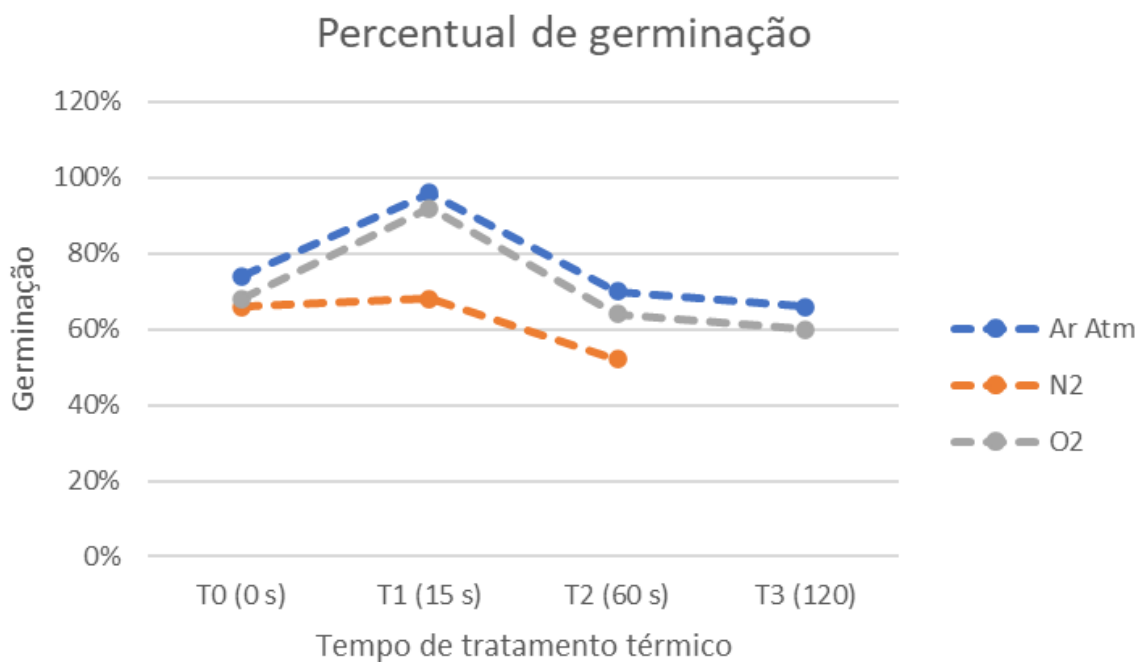
Fonte: Os autores

Os resultados de germinação para o 5º e 8º dia foram compilados na Tabela 6 e o resultado total de germinação comparando os 3 gases de tratamento foi plotado na Figura 23.

Tabela 6 – Tabela com resultados de germinação

Gás	Tratamento	Germinação - 5° dia	Germinação - 8° dia	Germinação Total
Ar Atm	T ₀	48%	26%	74%
Ar Atm	T ₁ (15 s)	52%	44%	96%
Ar Atm	T ₂ (60 s)	22%	48%	70%
Ar Atm	T ₃ (120 s)	26%	40%	66%
N ₂	T ₀	48%	18%	66%
N ₂	T ₁ (15 s)	56%	12%	68%
N ₂	T ₂ (60 s)	36%	16%	52%
O ₂	T ₀	44%	24%	68%
O ₂	T ₁ (15 s)	60%	32%	92%
O ₂	T ₂ (60 s)	42%	22%	64%
O ₂	T ₃ (120 s)	36%	24%	60%

FONTE: Os autores

Figura 23 - Resultados de germinação comparando os 3 gases de tratamento

Fonte: Os autores

Observando inicialmente, a maior diferença quantitativa acontece ao comparar as amostras de fornecimento com o tratamento T₁. Este aumento na taxa de germinação vai de acordo com o estudo sobre os efeitos do tratamento a plasma em sementes de soja de Ling *et al.* (2014). Em sua pesquisa, os autores apontam que os tratamentos com curto período de exposição em atmosfera ativa, 15 segundos, apresentam um melhor percentual germinativo, atingindo 90%.

Este estudo caminha de encontro aos apontados por Randeniya, L. K; Groot, G. J J. B (2015), onde foi apontado que para sementes de soja tratadas durante 15 segundos sob a influência de 80W de potência, também foram obtidos 90% de germinação. As amostras de soja nas condições T₁ apresentaram os melhores resultados de germinação em ar atmosférico e oxigênio, atingindo 96% e 92%.

Conforme os resultados de germinação das sementes de soja tratadas por ar atmosférico, nitrogênio e oxigênio, apresentados neste trabalho, foi observado que os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos de 15 segundos, apresentando uma melhora de respectivamente 2%, 22% e 24% em relação a amostras de fornecimento. Porém, para o mesmo tempo de tratamento, as amostras de ar nitrogênio apresentaram um resultado 30% inferior ao obtidos por os outros tratamentos neste presente estudo.

Diferente dos resultados obtidos durante o estudo utilizando ar atmosférico no tratamento a plasma de Vigna Mungo, popularmente conhecido como feijão preto, realizado por Billah *et al.* (2014) onde as amostras tratadas em 60 e 120 segundos, T₂ e T₃, tiveram desempenhos melhores que a de controle, as sementes de soja no presente estudo, apresentaram resultados semelhantes as sementes testemunha. Uma das possíveis razões para isto pode ser justificada com a adoção de uma potência 44%, 45 W, menor durante o tratamento realizado nesta presente pesquisa. Adoção de níveis maiores de potência, pode causar uma maior escarificação do tegumento e como afirmado por Fowler e Bianchetti (2000), podendo acarretar danos ao embrião da semente. Porém, o mesmo estudo aponta uma tendência de início de queda de desempenho acompanhada da elevação do tempo, o que acompanha os resultados obtidos neste estudo.

Apesar da diminuição quantitativa de sementes de soja germinada, os tratamentos T₂ e T₃ não apresentam variação significativa em relação a amostra de fornecimento. Porém, olhando os valores percentuais da germinação acumulada é possível notar uma tendência de diminuição em relação as sementes em estado de fornecimento. Esta analisa é similar a análise apontada por Da Silva *et al.* (2017), em que é apontado uma tendência de queda no percentual de germinação total em relação ao tempo de tratamento à plasma utilizando o ar atmosférico em sementes de Mimosa Caesalpiniaefolia, popularmente conhecida como Sabiá. Da Silva, afirma que para maiores tempos de tratamento, as amostras de Sabiá apresentam resultados inferiores de permeabilidade e embebição.

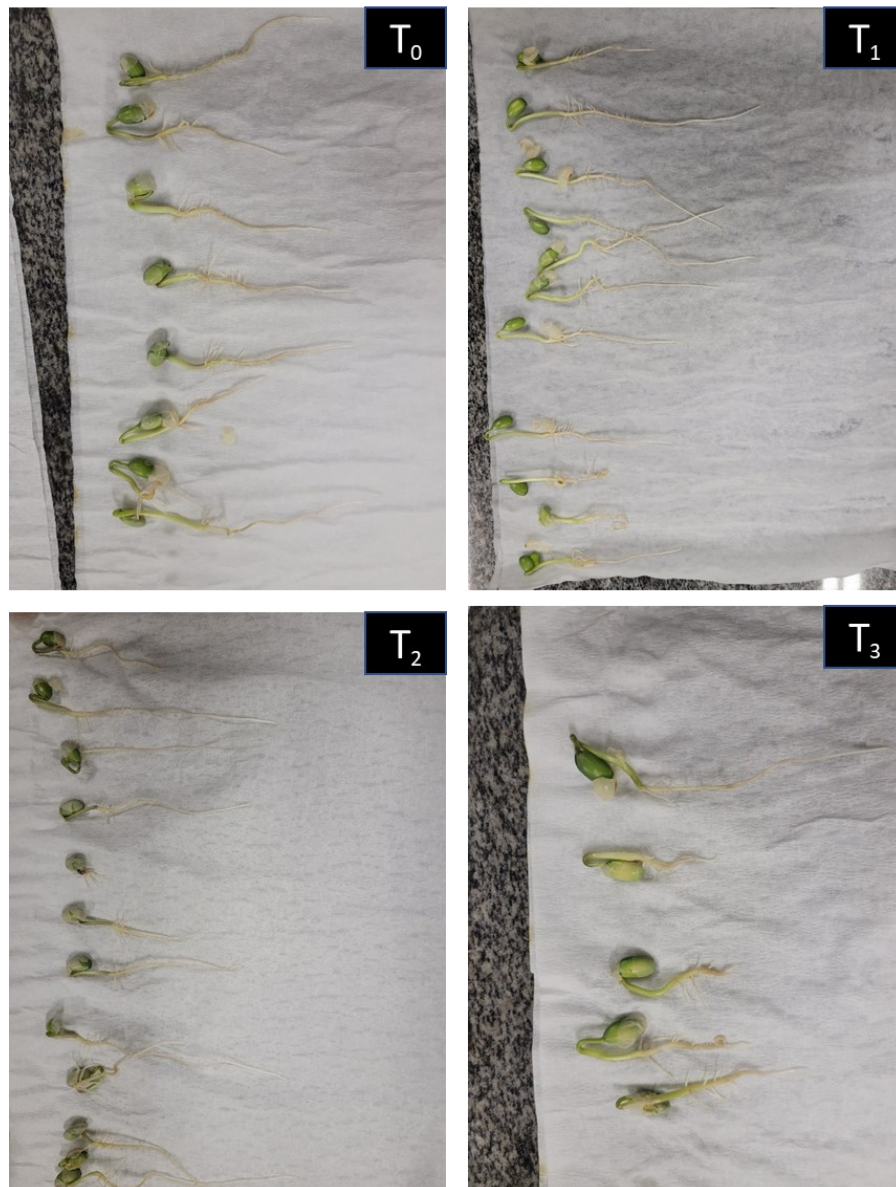
Segundo Lo Porto *et al.* (2019), os tratamentos à plasma a base de nitrogênio em *Asparagus Acutifolius*, aspargo, tendem a ser manter com percentuais de germinação próximos mesmo em grandes diferenças de tempo de tratamento. Em suas pesquisas, seu resultado se manteve entre 72% e 73% nos quinze minutos iniciais, podendo ser realizado um paralelo entre os resultados obtidos neste estudo. Para os autores, tratamento com nitrogênio apresentam melhora nas propriedades desinfetantes da amostragem e com também da sua absorção de água.

Ainda em seu estudo, Lo Porto *et al.* (2019) adicionou oxigênio na atmosfera plasmática obtendo um resultado de 82% para tempo de até 60 segundos, esta melhora dos resultados é consequência da maior afinidade do oxigênio com o tegumento, levando a escaificação do tegumento.

4.2 Comprimento de raiz

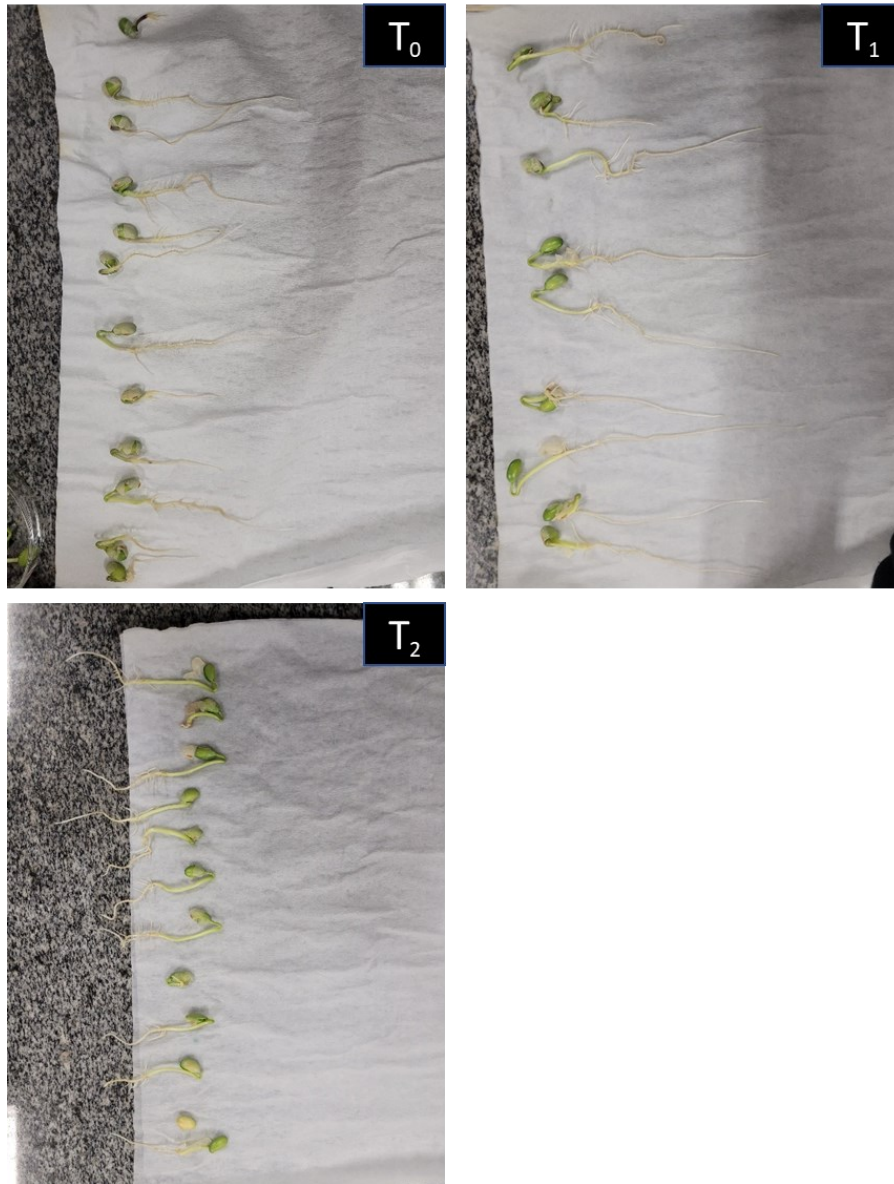
Após o 5º dia de germinação, as sementes preparadas para o teste de comprimento da raiz foram retiradas da germinadora e submetidas à medição. As Figura 24, Figura 25 e Figura 26 mostram as plântulas germinadas para os tratamentos com ar atmosférico, gás nitrogênio e gás oxigênio respectivamente.

Figura 24 – Plântulas germinadas para medição do comprimento de raiz (ar Atmosférico)



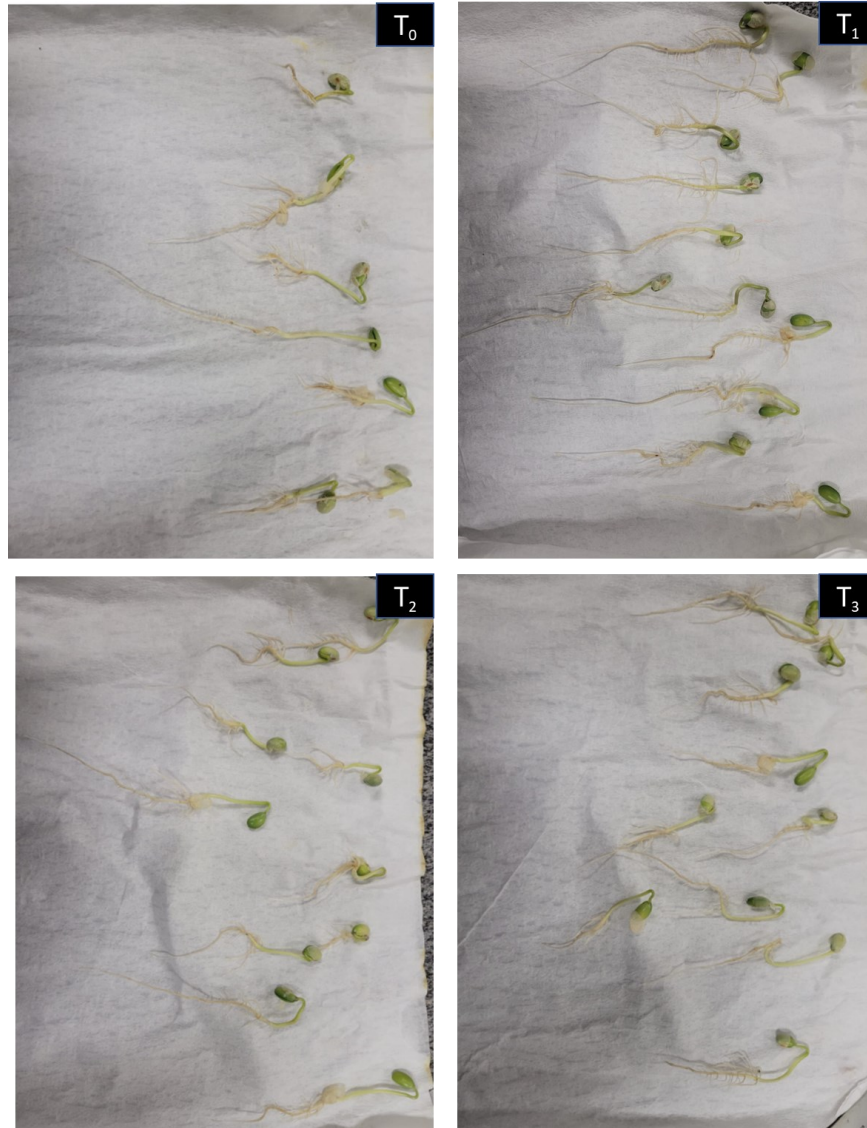
Fonte: Os autores

Figura 25 – Plântulas germinadas para medição do comprimento de raiz (gás nitrogênio)



Fonte: Os autores

Figura 26 – Plântulas germinadas para medição do comprimento de raiz (Oxigênio)



Fonte: Os autores

Os resultados foram compilados na Tabela 7 e estão representados como a média do comprimento das sementes germinadas “ \pm ” o seu desvio padrão. A mostra os resultados plotados em gráfico de comprimento por tratamento para cada gás utilizado.

Durante o procedimento em gás atmosférico, o resultado de pico de incidência foi apresentado no tratamento de 15 segundos, porém para níveis de probabilidade de 5% pelo teste de Tukey não há uma diferença significativa referente a amostragem de controle. O resultado pode ser observado de forma resumida na Tabela 7. Por sua

vez, a uma queda significativa para tratamentos de maiores períodos de exposição. Aplicando o teste de Tukey com nível de probabilidade de 20%, pode se observar uma diferença significativa entre T₀ e T₁.

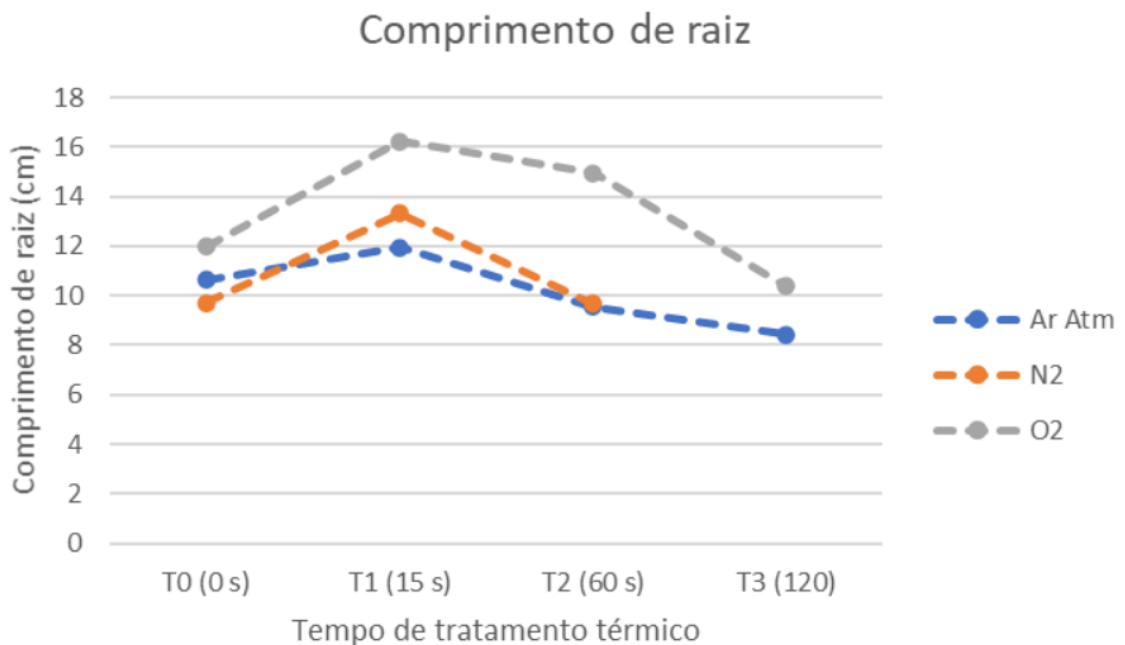
Tabela 7 – Resultado comprimento de raiz para gás atmosférico

Gás	Tratamento	Comprimento de raiz (cm)
Ar Atm	T ₀	10,64±2
Ar Atm	T ₁ (15 s)	11,93±1,38
Ar Atm	T ₂ (60 s)	9,54±1,09
Ar Atm	T ₃ (120 s)	8,44±1,34
N ₂	T ₀	9,7±1,35
N ₂	T ₁ (15 s)	13,31±2,76
N ₂	T ₂ (60 s)	9,67±1,16
O ₂	T ₀	11,97±0,74
O ₂	T ₁ (15 s)	16,22±2,58
O ₂	T ₂ (60 s)	14,96±1,48
O ₂	T ₃ (120 s)	10,38±1,05

Os dados foram expressos como média ± desvio padrão.

Fonte: Os autores

Figura 27 – Resultados médios do comprimento da raiz para todos os tratamentos



Fonte: Os autores

Para as amostras do tratamento térmico de 15 segundos em gás atmosférico, os resultados apontaram um aumento significativo em relação as amostras de controle. Este resultado é corroborado pela pesquisa de Ling *et al.* (2014), onde seu melhor resultado de crescimento de raiz foi apontado em uma condição de 15 segundos em atmosfera de hélio em 80W.

Conforme os resultados descritos, ambos os tratamentos térmicos à plasma apresentam uma tendência de melhoria para tempos de 15 segundos conforme também apontado por Ling *et al.* (2014). Entretanto, apenas para o gás atmosférico foi apresentado valores de crescimento significativo para este tratamento com nível de probabilidade de 5%.

Para os autores, a interação das células tratadas a plasma desencadeia uma aceleração no metabolismo através da utilização da reserva de nutrientes da semente na produção de proteínas solúveis que compõem enzimas importantes para o seu crescimento. Esse processo fotossintético pode ser aproximado da fotossíntese, porém para casos de longos períodos de exposição existe uma queda na taxa de crescimento de raiz pela ação da queda na absorção de água causada pelo excesso de escarificação em seu tegumento.

4.3 Absorção de água

Os resultados de absorção de água foram compilados na

Tabela 8 e suas médias plotadas na Figura 28 no formato de absorção percentual de água pelo tempo de tratamento para cada gás utilizado.

Ao comparar as amostras sob tratamento térmico com gás atmosférico em relação as de controle, é possível observar que para procedimentos mais longos os resultados percentuais se mantem constantes. Porém, em relação ao tratamento de 15 segundos, T1, é possível observar uma melhora considerável de 13,93% em relação a condição de não tratamento.

Este resultado entra em consenso com a linha de estudos de Randeniya, L. K; Groot, G. J J. B (2015), onde os resultados apresentados para um tratamento à plasma com 15 segundos de duração sob a influência de hélio se apresentou 14% maior que as sementes de controle.

Este resultado também entra em concordância com as afirmações descritas por Ling *et al.* (2014), onde ele justifica a maior germinação para sementes de soja durante 15 segundos de tratamento a plasma em gás atmosférico ser proveniente da maior absorção para esta condição de tratamento.

Ambos os resultados podem ser analisados a partir do aumento da permeabilidade do envoltório da semente, segundo Ling, causada através da escarificação química causada por reações provenientes do tratamento térmico a plasma que promovem uma menor espessura e rigidez do tegumento. Este fator é corroborado por Shu *et al.* (2015), que afirma que através da diminuição desta barreira é possível acelerar o metabolismo da semente e superar a sua dormência.

Lo Porto *et al.* (2019) aponta que a capacidade hidrofílica sofre uma ligeira melhora, mesmo que insignificante, para o tratamento em sementes de soja durante 60 segundos sob uma atmosfera composta por oxigênio e hidrogênio. Entretanto, quando observado os resultados presentes no estudo realizado sob ação apenas de nitrogênio, os resultados apontam para uma leve perda de capacidade ao comparar as amostras de controle, 4,47%, e as amostras de 60 segundos, 1,63%. O resumo dos resultados é exibido na Tabela 8 e as médias foram plotados na Figura 28 respectivamente.

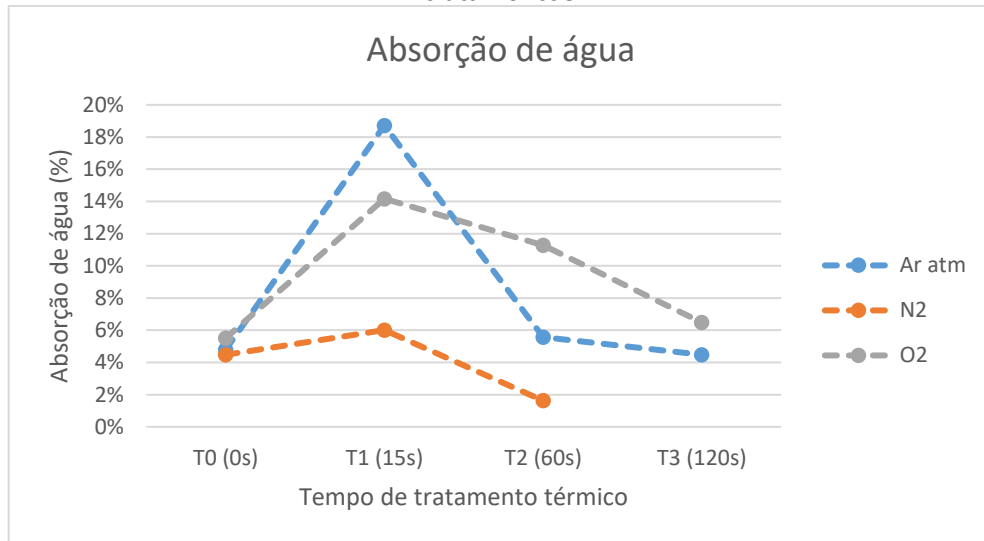
Tabela 8 – Resultado de absorção de água para todos os tratamentos

	ar atmosférico	N ₂	O ₂
T0	4,8%±2,24%	4,5%±2,31%	5,5%±3,52%
T1	18,7%±4,17%	6,0%±2,28%	14,2%±3,24%
T2	5,6%±2,70%	1,6%±2,54%	11,3%±4,40%
T3	4,5%±2,44%		6,5%±3,82%

Os dados foram expressos como média ± desvio padrão.

Fonte: Os autores

Figura 28 – Comparação de medias dos resultados de absorção de água para todos os tratamentos



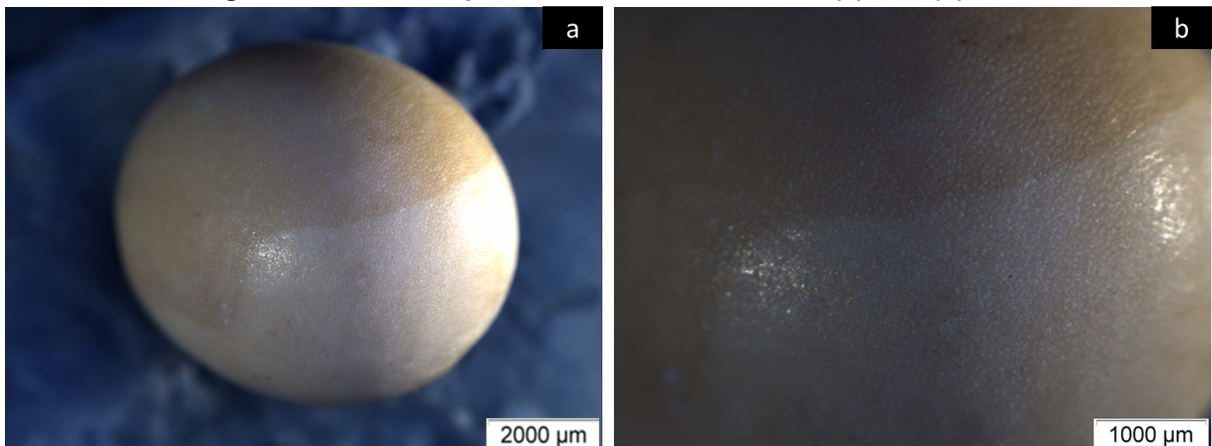
Fonte: Os autores

A menor absorção de água para a atmosfera com nitrogênio pode ser justificada pela ausência de oxigênio na atmosfera plasmática, que ao atacar com radicais de oxigênio e bombardear com íons, causam uma corrosão superficial e com isso aumentam a capacidade hidrofílica (LO PORTO *et al.*, 2019)

4.3.1 Microscopia

Para as amostras de fornecimento, foi observado as condições regulares que uma semente de soja apresenta. A presença texturizada com um limiar separando dois tons diferentes sobre o tegumento da semente. Para as sementes de fornecimento, não foi observado nenhum contraste superficial como pode ser visualizado na Figura 29 .

Figura 29 – Microscopia semente sem tratamento (a) 16x, (b) 32x

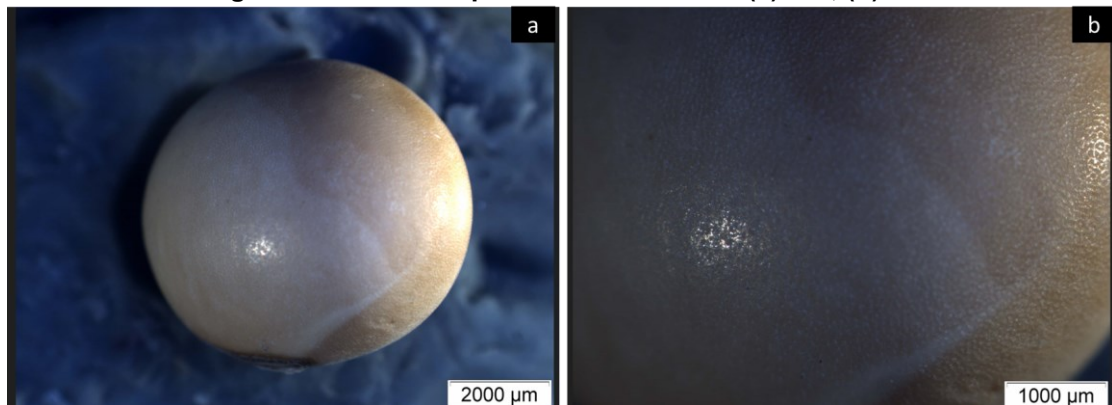


Fonte: Os autores

As amostras submetidas aos tratamentos térmico a plasma com duração de 15 segundos, para os gases ar atmosférico, nitrogênio e oxigênio, apresentaram um padrão semelhante as amostras de fornecimento como podem ser observadas na

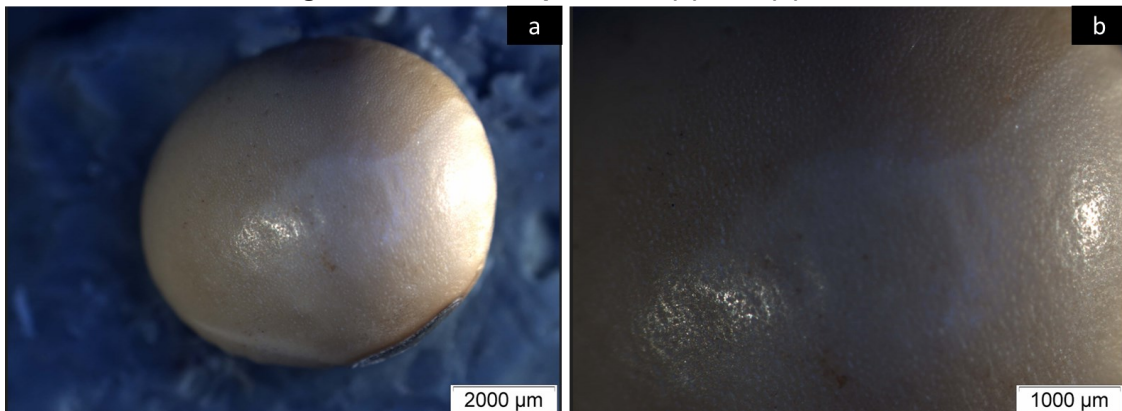
Figura 30, Figura 31 e Figura 32.

Figura 30 – Microscopia ar atmosférico T1 (a) 16x, (b) 32



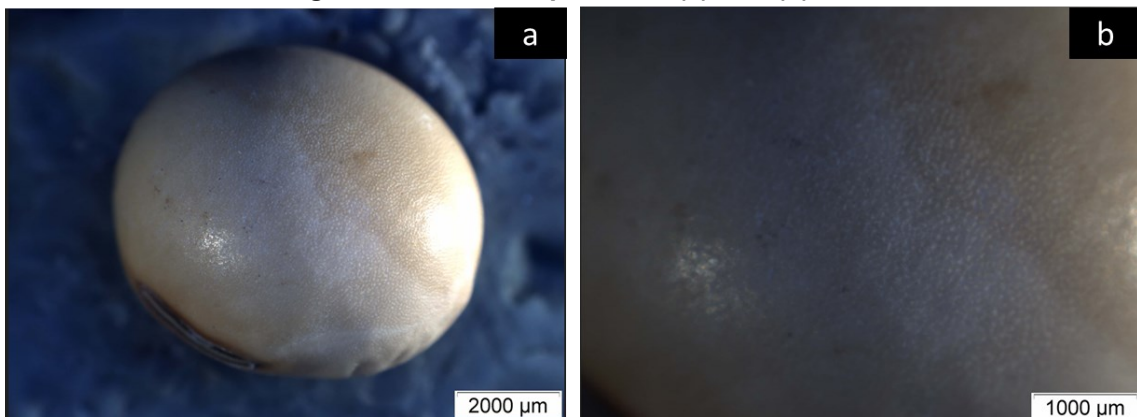
Fonte: Os autores

Figura 31 – Microscopia N2 T1 (a) 16x, (b) 32x



Fonte: Os autores

Figura 32 – Microscopia O2 T1 (a) 16x, (b) 32x



Fonte: Os autores

Nas imagens, é possível observar que os padrões de textura e coloração se mantiveram semelhantes ao estado de fornecimento. A linha divisória entres os tons se mostra presente, não apresentando outros contrastes superficiais. Porém, as amostras T₁ demonstraram uma melhor performance nos resultados de germinação, podendo ser justificado com a escarificação tegumentar suficiente para que a permeabilidade aumente e assim tirando as sementes do estado de dormência, mas não grande o bastante para que ocorra o surgimento de contrastes superficiais a uma aproximação de 32 vezes.

Ao abordar a superação do estágio de dormência da soja, Shu *et al.* (2015), propõem que inúmeros eventos controlam os mecanismos de superação desta barreira e entre eles estão os fito-hormônios: ácido abscísico (ABA) e o ácido giberélico (GA). Sementes que apresentam o ácido abscísico demonstram uma maior

tendência a permanecer em um estado de dormência, por sua vez, o ácido giberélico promove o efeito contrário em sementes que apresentam seu gene.

Sendo um processo chave para promover a germinação e na quebra da dormência, uma hipótese para o aumento na germinação é baseada na inserção de oxigênio durante o tratamento a plasma conseguindo promover o desenvolvimento do ácido giberélico rico em oxigênio (GA2ox). Este componente auxiliaria na degradação do tegumento durante a escarificação, possibilitando melhores resultados de germinação sem a formação de trincas ou quebras na superfície da semente (SHU *et al.*, 2015).

Aliado ao ponto discutido sobre o aumento da permeabilidade causada pela escarificação do tegumento, para Guimarães *et al.* (2014), esta superfície também é submetida ao mecanismo de amolecimento, acréscimo no tecido do embrião e tecidos de reserva através do processo de embebição e a translocação dos nutrientes.

O que também corrobora o estudo levantado por Ling *et al.* (2014), onde ele aponta que o crescimento das raízes pode ser aumentado quando a habilidade de absorver e acumular nutrientes que promovem uma aceleração metabólica pode ser influenciado pelo tratamento a plasma. Em seus resultados, foi apontado que sementes tratadas termicamente a plasma obtiverem melhores percentuais no desenvolvimento de proteínas solúveis em relação as amostras de fornecimento.

Além do maior acesso a água durante a absorção, o aumento na permeabilidade favorece o fluxo de trocas gasosas para O₂ e CO₂, também auxiliando aos eventos metabólicos relacionados ao crescimento e desenvolvimento do embrião. Este fato corrobora os resultados referente ao maior percentual de germinação, crescimento de raiz e absorção de água obtidas nos tratamentos à plasma com atmosfera rica em oxigênio, além das sementes sem a influência dos tratamentos (GUIMARÃES *et al.*, 2014)

O surgimento de trincas sob o tegumento é um evento comum durante a escarificação pois esta superfície é o principal ponto de controle da entrada de água em uma semente. Para as sementes de soja, trincas microscópicas são de muita importância no aumento da permeabilidade do envoltório. De acordo com o estudo proposto por Qutob *et al.* (2008), trincas invisíveis a olho nu de 1 a 5 µm de largura e 20 a 200 µm de comprimento, são recorrentes durante processos de escarificação.

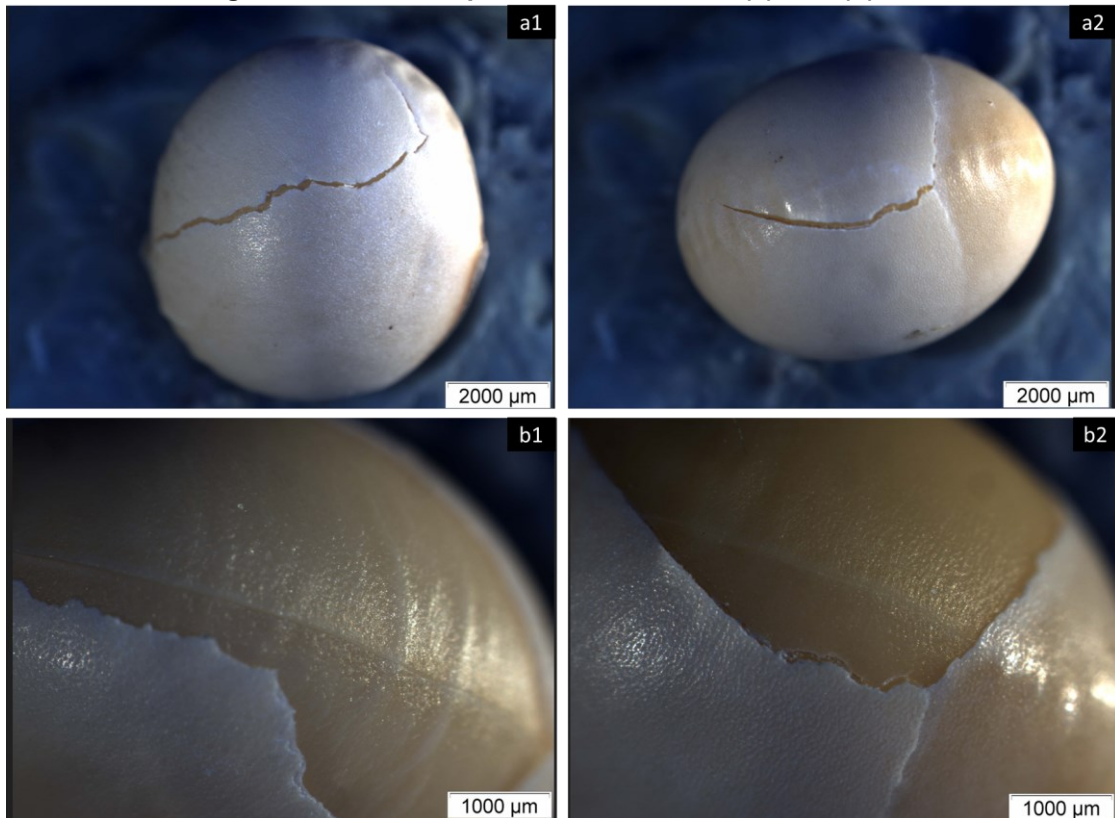
Porém, as amostras provenientes dos tratamentos térmicos a plasma com duração de 60 segundos apresentaram mudanças superficiais perceptíveis a olho nu.

Ao ser condicionada ao microscópio, as amostras dos gases ar atmosférico, nitrogênio e oxigênio apresentaram, em uma ampliação de 16 vezes, contrastes superficiais desde trincas pequenas a pequenas quebras em seu tegumento.

Com a remoção de elementos quebradiços do tegumento, as amostras foram submetidas a microscopia, em uma ampliação de 32 vezes, e com isso pode ser observado que as tensões atingiram não somente o tegumento, mas também danificaram a superfície do embrião. As trincas apresentaram diferentes intensidades, para o ar atmosférico foi apresentado o embrião com menos impacto o que corrobora a maior ocorrência de germinação, 70%, para esta classificação. Para o nitrogênio, foram observadas trincas de maior espessura e profundidade, este fato pode ser atrelado ao menor desempenho em germinação, 52%, dentre todos os tratamentos.

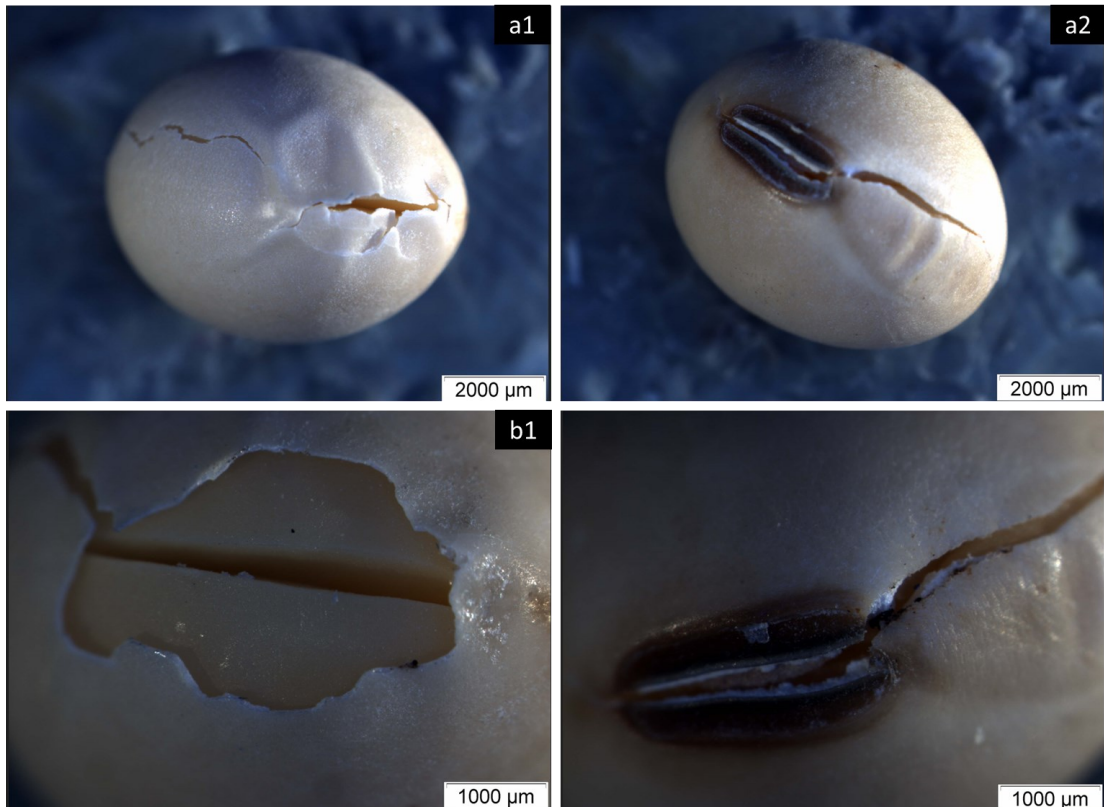
Esse fator pode ser justificado em decorrência de uma maior exposição ao plasma, o que implicaria em maiores tempos de agressão ao tegumento da semente. Esta linha vai de acordo ao proposto neste trabalho em relação aos resultados obtidos, além de Peske (2011), e Ataíde *et al.* (2014), onde foi proposto que apesar no aumento inicial da absorção de água nos primeiros estágios de embebição através das trincas no tegumento causadas durante a escarificação química da atmosfera plasmática, o último estágio de absorção de água não se mostrou efetivo pelos danos causados no embrião. Estes contrastes superficiais podem ser observados na Figura 33, Figura 34 e Figura 35.

Figura 33 – Microscopia ar atmosférico T2 (a) 16x, (b) 32x



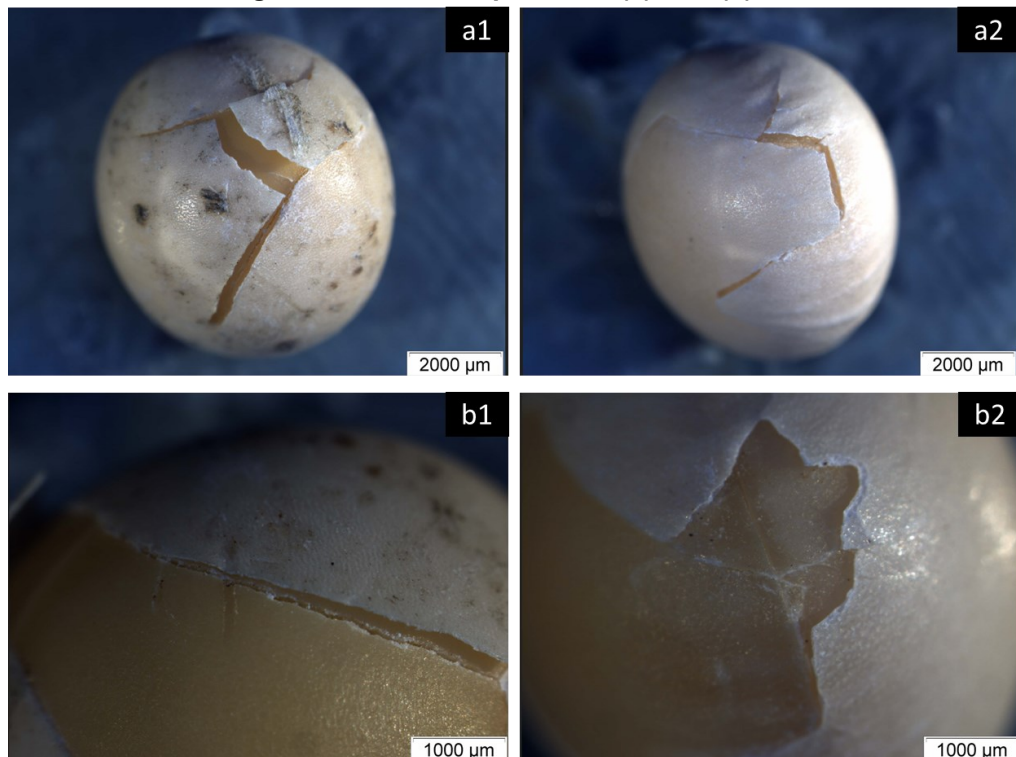
Fonte: Os autores

Figura 34 – Microscopia N2 T2 (a) 16x, (b) 32x



Fonte: Os autores

Figura 35 – Microscopia O2 T2 (a) 16x, (b) 32x

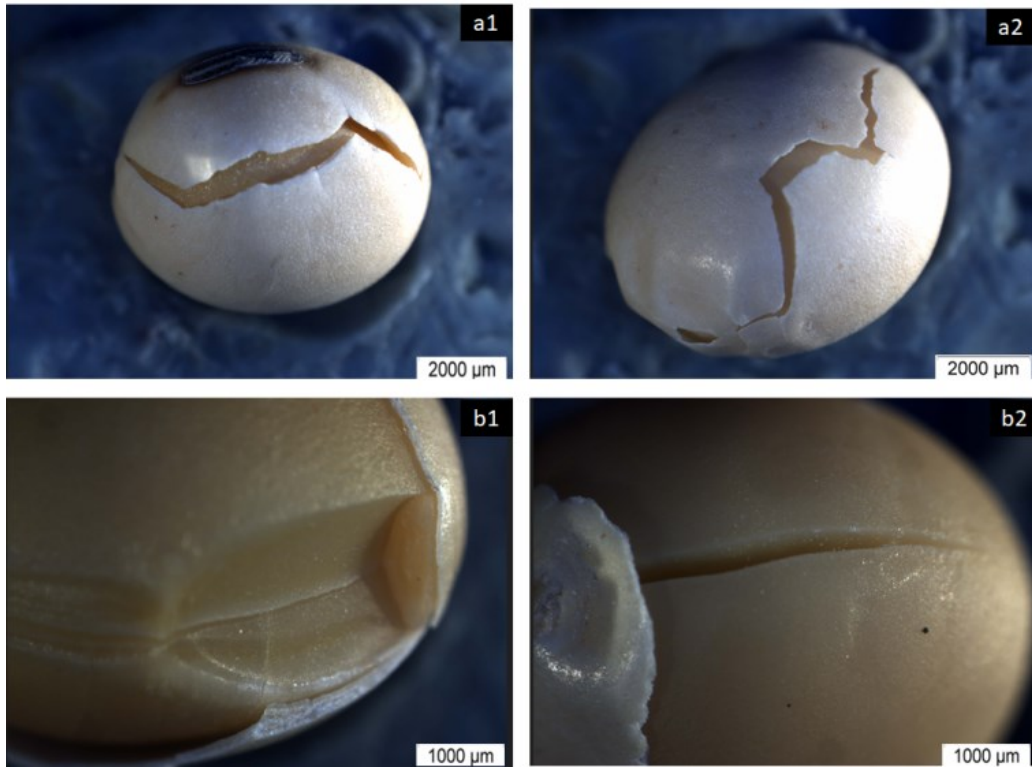


Fonte: Os autores

As amostras que sofreram o maior tempo de tratamento, 120 segundos, para os gases ar atmosférico, nitrogênio e oxigênio demonstraram um padrão de contrastes superficiais semelhantes ao apresentado para os tratamentos de 60 segundos. Ao observar sob uma ampliação de 16 vezes, foi possível identificar trincas e quebras em seu tegumento, porém apresentando uma maior intensidade.

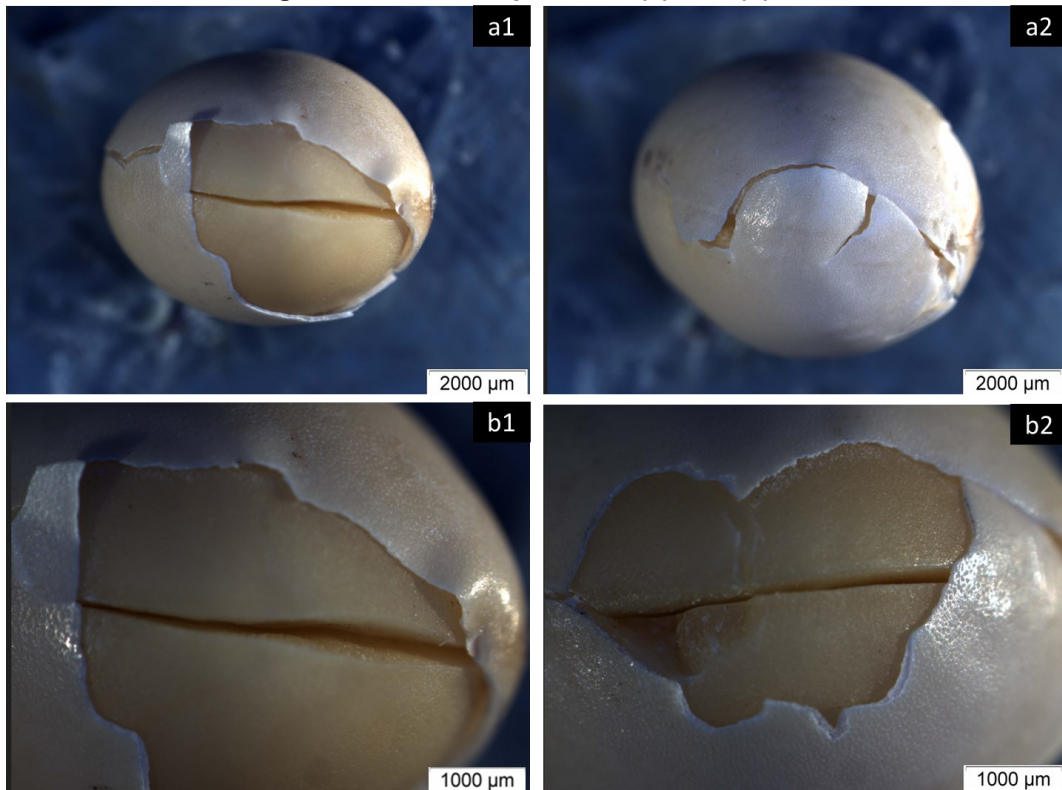
Para este tratamento, foi constatada que além de pequenas trincas na superfície do embrião, também foram observadas a formação de pequenas crateras de perda de material. Esse aumento de intensidade pode ser atrelado ao maior tempo de exposição ao plasma e com isso uma maior escarificação. Seguindo a mesma linha do tratamento T2, as amostras de T3 apresentaram os piores resultados de germinação para os gases ar atmosférico, 66% e oxigênio, 60%. As amostras submetidas aos tratamentos térmicos a plasma durante 120 segundos podem ser observadas na Figura 36, Figura 37 e Figura 38.

Figura 36 – Microscopia ar atmosférico T3 (a) 16x, (b) 32x



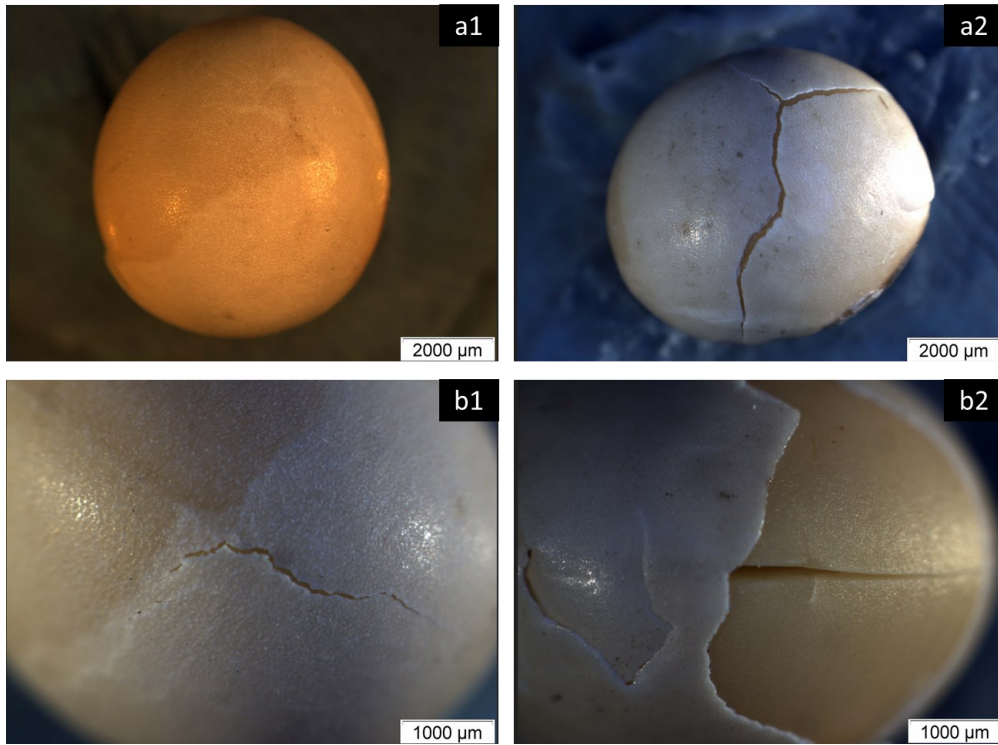
Fonte: Os autores

Figura 37 - Microscopia N2 T3 (a) 16x, (b) 32x



Fonte: Os autores

Figura 38 – Microscopia O2 T3 (a) 16x, (b) 32x



Fonte: Os autores

5 CONCLUSÃO

Sendo o objetivo deste trabalho avaliar o efeito do tratamento a plasma na germinação e crescimento de sementes de soja, pode-se concluir que os melhores resultados para germinação em sementes de soja para os tratamentos com ar atmosférico, gás nitrogênio e gás oxigênio foram obtidos no tempo de exposição de 15 segundos, apresentando uma melhora de respectivamente 22%, 2% e 24% em relação a amostras de fornecimento. Este fato ocorre devido ao aumento da permeabilidade do envoltório da semente ocasionado pela escarificação devido a exposição ao plasma durante os 15 segundos de tratamento. O aumento da permeabilidade está atrelado a maior absorção de água e conseqüentemente a quebra do estado de dormência devido à aceleração do metabolismo da semente.

Com relação a absorção de água e comprimento da raiz, os maiores resultados são alcançados com o tempo de tratamento de 15 segundos para todos os gases com um decaimento que acompanha o tempo de exposição ao plasma ao analisar os resultados com 60 e 120 segundos de tratamento. Este comportamento pode ser justificado com a interação das células tratadas a plasma, a qual desencadeia uma aceleração no metabolismo através da utilização da reserva de nutrientes da semente na produção de proteínas solúveis que compõem enzimas importantes para o seu crescimento. Para casos de longos períodos de exposição existe uma queda na taxa de crescimento de raiz pela ação da queda na absorção de água causada pelo excesso de escarificação em seu tegumento.

A escarificação é observada nas imagens de microscopia para os tempos de 60 e 120 segundos para todos os gases, sendo observado trincas e quebras no tegumento das sementes. A severidade dos defeitos superficiais foi intensificada com o aumento do tempo de exposição, chegando a atingir o embrião das sementes. Estes defeitos não foram observados nas imagens da semente sem tratamento e para a exposição de 15 segundos.

De forma geral, o tratamento a plasma com tempo de exposição de 15 segundos apresentou melhores resultados quando comparados com as sementes não tratadas indicando o aumento do vigor das sementes, podendo ser justificado com a escarificação tegumentar suficiente para que a permeabilidade aumente e assim tirando as sementes do estado de dormência, mas não grande o bastante para que ocorra o surgimento de contrastes superficiais ocasionando um decaimento na

performance da germinação, comprimento e absorção de água como é observado nos resultados e imagens de microscopia para os tempos de exposição de 60 e 120 segundos.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Maior amostragem para os tratamentos à plasma com ar atmosférico e nitrogênio para diminuir a margem de erro obtida através do teste de Tukey, garantindo que o comprimento de raiz tenha um resultado mais assertivo.

- Análise química de superfície para todas as variantes de gás e tempo de tratamento térmico a plasma, com intuito de investigar se houve mudança nas características de superfície que corroborem a variação da absorção de água.

- Realização do teste de tetrazólio, para análise do vigor, a fim de estudar se os danos de superfície que causam queda de qualidade teriam relação com o tratamento à plasma.

- Utilizando a Microscopia Eletrônica de Varredura em vácuo, observar se existem diferenças entre as superfícies e a espessura final do tegumento após um corte transversal.

- Estudar a viabilidade do tratamento a plasma em sementes tratadas com insumos microbiológicos.

- Estudar a viabilidade do tratamento a plasma em sementes tratadas quimicamente.

REFERÊNCIA

- AGNOL, A. D.; ROESSING, A. C.; LAZZAROTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **O complexo agroindustrial da soja brasileira**. Londrina: Circular Técnica, 2007.
- ATAIDE, G. A.; BORGES, E. E. L. FLORES, A. V., CASTRO, R. V. O. **Avaliação Preliminar da embebição de sementes de jacarandá-da-Bahia**. Brasil, 2014.
- BERG, M.; BUDTS-JORGENSEN, C. V.; REITZ, H.; SCHWEITZ, K.O.; CHEVALLIER, J.; KRINGHOJ, P.; BOTTIGER, J. **On plasma nitrifying of steels**. Dinamarca: Elsevier, 2000.
- BILLAH, M.; SAJIB, S. A.; ROY, N. C.; RASHID, M. M.; REZA, M. A.; HASAN, M. M.; TALUKDER, M. R. **Effects of DBD air plasma treatment on the enhancement of clack gram (Vigna mungo 1.) seed germination and growth**. Blangadesh: Elsevier, 2020.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2002**. Brasil: 2021.
- BRASOVEANU, M.; NEMTANU, M. R.; SURDU-BOB, C.; KARACA, G.; ERPER, I. **Effect of glow discharge plasma on germination and fungal load of some cereal seeds**. Romania: International Conference on Plasma Physics and Applications, 2013.
- BROKMAN, A.; TULER, F. R. **A study of the mechanisms of ion nitriding by the application of a magnetic field**. Jerusalem, Israel: AIP Publishing, 1981.
- CAMPBELL, Donald T.; STANLEY, Julian C. **Delineamentos experimentais e quase experimentais de pesquisa**. São Paulo: E.P.U./EDUSP, 1979.
- CONAB. **Estimativa indica aumento da produção de grãos na safra 2021/22, com previsão em 288,61 milhões de toneladas**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4316-estimativa-indica-aumento-na-producao-de-graos-na-safra-2021-22-com-previsao-em-288-61-milhoes-de-toneladas>> Acesso em: 18 de novembro de 2021.
- CONAB. **Último levantamento da safra 2020/21 confirma redução na produção de grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4234-ultimo-levantamento-da-safra-2020-21-confirma-reducao-na-producao-de-graos>> Acesso em: 18 de novembro de 2021.
- CLIMATE FIELD. **Doenças da Soja: 9 principais doenças que mais preocupam o produtor**. Disponível em: <<https://blog.climatefieldview.com.br/9-doencas-que-mais-preocupam-o-produtor-de-soja>> Acesso em: 15 de novembro de 2021.
- COCKE, D. L.; CLEARFIELD, A. **Design of New Materials**. Texas: College Station, 1986.

DE GROOT, G. J. J. B.; HUNDT, A.; MURPHY, A. B.; BANGE, M. P.; MAI-PROCHNOW, A. **Cold plasma treatment for cotton seed germination improvement**. Narrabri, Australia: Scientific Reports, 2018.

DE LUCENA, R. B.; DE SOUZA, N. J. **Políticas agrícolas e desempenho da agricultura brasileira: 1950-00**. Porto Alegre: Indic. Econ. FEE, 2001.

FIGUEIREDO, A. M.; DOS SANTOS, M. L. **Evolução das vantagens comparativas do Brasil no comércio mundial de soja**. Viçosa: Revista de política Agrícola, 2005.

FOWLER, J. A. P.; BIANCHETTI, A. **Dormência em sementes florestais**. Colombo: Brasil, 2000.

GALLO, S. C.; DONG, H. **On the fundamental mechanisms of active screen plasma nitriding**. Birmingham: Elsevier, 2009.

GHERARDI, M.; PUAC, N.; SHIRATANI, M. **Plasma agriculture: A rapidly emerging field**. Pregrevisa, Sérvia: Expert Opinion, 2017.

GRUN, R.; GUNTHER, H. J. **Plasma nitriding in industry-problems, new solutions and limits**. Holanda: Elsevier Sequoia, 1991.

GUIMARÃES, M. A.; DIAS, D. C. F. S.; LOUREIRO, M. E. **Hidratação de sementes**. Brasil, 2014.

HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014.

JUNIOR, C. A. **Nitretação a Plasma Fundamentos e Aplicações**. Natal: EDUFRN, 2001.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed, 2004.

LEE, Y.; LEE, Y. Y.; KIM, Y. S.; BALARAJU, K.; MOK, Y. S.; YOO, S. J.; JEON, Y. **Enhancement of seed germination and microbial disinfection on ginseng by cold plasma treatment**. Andong, Korea: The Korean Society of Ginseng, 2020.

LING, L.; JIAFENG, J.; MINCHONG, S.; XIN, H.; HANLIANG, S.; YUANHUA, D. **Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean**. China: Scientific Reports, 2014.

LO PORTO, C.; SERGIO, L.; BOARI, F.; LOGRIECO, A. F.; CANTORE, V. **Cold plasma pretreatment improves the germination of wild asparagus (*Asparagus acutifolius* L.) seeds**. Itália: Elsevier, 2019.

MACHADO, J. C.; WAQUIL, J. M.; DOS SANTOS, J. P.; REICHENBACH, J. W. **Tratamento de sementes no controle de fitopatógenos e pragas**. Belo Horizonte: Informe Agropecuário, 2006.

- MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- MARCOS-FILHO, J. **Importância do potencial fisiológico da semente de soja**. Piracicaba: ABRATES, 2013.
- MARCOS-FILHO, J. **Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective**. Piracicaba: Scientia Agricola, 2015.
- MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- MOREANO, T. B.; DE LUCCA E BRACCINI, A.; SCAPIM, C. A.; FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; MARQUES, O. J. **Physical and physiological qualities of soybean seed as affected by processing and handling**. Maringá: Embrapa Soja, 2013.
- NEUMAIER, Norman; NEPOMUCENO, Alexandre Lima; FARIAS, José Renato Bouças; OYA, Tetsuji. **Estádios de Desenvolvimento da Cultura de Soja. AGEITEC (Agência Embrapa de Informação Tecnológica)**. Disponível em: <www.agencia.cnptia.embrapa.br> Acesso em: 29 Abr. 2018.
- PEREIRA, W. A.; PEREIRA, S. M. A.; DIAS, D. C. F. S. **Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings**. Brasil, 2013.
- PÉREZ-PIZA, M. C.; PREVOSTO, L.; GRIJALBA, P. E.; ZILLI, C. G.; CEJAS, E. MANCINELLI, B.; BALESTRASSE, K. **Improvement of growth and yield of soybean plants through the application of non-thermal plasmas to seeds with different health status**. Argentina: Elsevier, 2019.
- PÉREZ-PIZA, M. C.; PREVOSTO, L.; ZILLI, C. G.; CEJAS, E.; KELLY, H.; BALESTRASSE, K. **Effects of non-thermal plasmas on seed-borne Diaporthe/Phomopsis complex and germination parameters of soybean seeds**. Argentina: Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2018.
- PESKE, S. T. **Absorção de água sobre estresse**. Brasil, 2011.
- PYE, D. **Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing**. Estados Unidos da América: ASM International, 2013.
- QUTOB, D.; MA, F.; PETERSON, C. A.; BERNARDS, M. A.; GIJZEN, M. **Structural and permeability properties of the soybean seed coat**. Canadá, 2008.
- RANDENIYA, L. K.; DE GROOT, G. J. J. B. **Non-Thermal Plasma Treatment of Agricultural Seeds for Stimulation of Germination, Removal of Surface Contamination and Other Benefits: A Review**. Weinheim, Alemanha: Plasma Process and Polymers, 2015.
- REIS, R. F. **Elevação do teor superficial de nitrogênio no aço inoxidável austenítico ISSO 5832-1**. Tese (Doutorado), UTFPR, Curitiba, 2007.

REIS, R. F. **Enriquecimento Superficial de Nitrogênio em Aços Inoxidáveis: SHTPN (Caracterizações) / Novas Rotas. Projeto de Pesquisa e de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**, n° 714, UTFPR, Curitiba, 2017.

RHODEN, A. C.; COSTA, N. L.; SANTANA, A. C.; OLIVEIRA, G. N.; GABBI, M. T. T. **Análise das Tendências de Oferta e Demanda para o Grão, Farelo e Óleo de Soja no Brasil e nos Principais Mercados Globais**. Ijuí: Editora Unijuí, 2020.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999. São Paulo: Atlas, 2001.

SCHUCH, L. O. B.; KOLCHINSKI, E. M.; FINATTO, J. A. **Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja**. Pelotas: Revista Brasileira de Sementes, 2009.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; JUNIOR, A. A. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; CAMPOS LEITE, E. M. V. B. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020.

SHU, A.; MENG, Y. J.; SHUAI, H. W.; LIU, W. G.; DU, J. B.; LIU, J.; YANG, W. Y. **Dormancy and germination: How does the crop seed decide ?**. China, 2015.

SILVA, A. M. P.; OLIVEIRA, G. P.; NERES, D. C. C. **Germinação e vigor de sementes de soja submetidas ao tratamento com substâncias bioativas**. Várzea Grande: Caderno de Publicações, Univag, 2018.

SILVA, A. R. M.; FARIAS, M. L.; SILVA, D. L. S.; VITORIANO, J. O.; SOUZA, R. C.; ALVES-JUNIOR, C. **Using atmospheric plasma to increase wettability, imbibition and germination of physically dormant seeds of Mimosa Caesalpiniaefolia**. Mossoró: Elsevier, 2017.

SOLAB CIENTÍFICA. **SL-224/I – Câmara de Germinação com Fotoperíodo e Interino em Inox**. Disponível em: < <https://www.solabcientifica.com.br/equipamentos/camaras-germinacao/sl-224-i-camara-de-germinacao-com-fotoperiodo-e-interno-em-inox>> Acesso em: 16 de novembro de 2021.

VAZ, A. C. **Cooperação, Integração e Processo Negociador**. Brasília: IBRI, 2002.