

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**VALORIZAÇÃO AGRONÔMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA: USO DE
BIOFERTILIZANTE NA CULTURA DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA**

EDUARDO LUIZ BULIGON

CASCADEL – PARANÁ
SETEMBRO DE 2021

EDUARDO LUIZ BULIGON

**VALORIZAÇÃO AGRONÔMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA: USO DE
BIOFERTILIZANTE NA CULTURA DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof^a Dr^a Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa

Coorientador: Prof Dr Jorge de Lucas Júnior

CASCADEL – PARANÁ

SETEMBRO DE 2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas daUnioeste.

Luiz Buligon, Eduardo
VALORIZAÇÃO AGRONÔMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA
DE SUINOCULTURA: USO DE BIOFERTILIZANTE NA
CULTURA DO MILHO DE
SEGUNDA SAFRA / Eduardo Luiz Buligon; orientadora
Monica Sarolli Silva de Mendonça Costa; coorientador Jorge de
LucasJunior. -- Cascavel, 2021.
58 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) --
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências
Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
EngenhariaAgrícola, 2021.

1. Resíduo Agroindustrial. 2. Fertilizante Líquido. 3.
Reaproveitamento Nutricional. I. Sarolli Silva de Mendonca Costa.

EDUARDO LUIZ BULIGON

Valorização agronômica da água residuária de suinocultura: uso de biofertilizante na cultura do milho de segunda safra

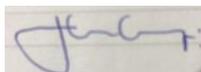
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, linha de pesquisa Saneamento Ambiental, APROVADO pela seguinte banca examinadora:



Orientadora - Dr. MONICA SAROLLI SILVA DE MENDONÇA COSTA
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Dr. Stela Basso Montoro
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP (UNESP)



Dr. Jorge de Lucas Júnior
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP (UNESP)



Dr. Silvia Renata Machado Coelho
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 9 de agosto de 2021.

BIOGRAFIA

EDUARDO LUIZ BULIGON – Nascido em 30 de abril de 1994, natural de Cascavel, Paraná. Possui graduação em Engenharia Agrícola (2018) pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Paraná. É mestrando (bolsista CAPES) no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, vinculado à área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, atuando na linha de pesquisa de Saneamento Ambiental.

“Para obter algo que você nunca teve, é preciso fazer algo que você nunca fez”.
“A vontade de Deus nunca irá levá-lo aonde a graça Dele não irá protegê-lo”.
(Chico Xavier)

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda
pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”
(Arthur Schopenhauer)

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens,
mas em ter novos olhos”.
(Marcel Proust)

Ao meu alicerce e maior bênção – minha família – Ivete Paulina Buligon (mãe), Rafaella

Aparecida Buligon (irmã), dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus trino, pelo dom da vida, por sempre iluminar meus percursos e caminhar ao meu lado.

À minha mãe, Ivete Paulina Buligon, pelo exemplo sólido de caráter, honestidade e humildade. Pelo amor, afeto, afago e orações. À minha irmã, Rafaella Aparecida Buligon, que, mesmo sem saber, de alguma forma, me motiva. À minha namorada, Jaqueline Severgnini, pelo apoio, compreensão e companheirismo. A toda a minha família, por me apoiar durante o Mestrado.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus Cascavel, e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), pela estrutura, a qual foi fundamental para o desenvolvimento desta dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante todo o mestrado.

À professora e minha orientadora, Mônica Sarolli S. de M. Costa, que se tornou um exemplo e uma motivação em minha formação profissional. Serei eternamente grato pelos ensinamentos técnicos, científicos e humanos, pela dedicação que tens pela pesquisa e ensino, pelas oportunidades, pela confiança em mim depositada e por não medir esforços pela formação de qualidade de seus alunos;

Ao meu coorientador, Jorge de Lucas Júnior, pela ideia inicial e pelos direcionamentos em minha dissertação;

Às contribuições da banca examinadora da minha qualificação, composta pelos professores doutores: Simone Damasceno Gomes e Jorge de Lucas Júnior.

Às contribuições e disponibilidade da banca examinadora da minha defesa de dissertação, composta pelos doutores: Silvia Renata Machado Coelho, Stela Basso Montoro e Jorge de Lucas Júnior.

À equipe do Laboratório de Análise de Resíduos Agroindustriais (LARA), pelos ensinamentos, auxílios ao experimento e coleta de dados, pelo convívio e o companheirismo.

Ao professor, Flávio Gurgacz e sua equipe, pelo auxílio na condução do experimento em campo.

Aos professores do PGEAGRI, que contribuíram para a minha formação. Aos técnicos dos laboratórios da área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, pelos auxílios e instruções nas análises. Aos funcionários e à comunidade acadêmica da UNIOESTE.

VALORIZAÇÃO AGRONÔMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA: USO DE BIOFERTILIZANTE NA CULTURA DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA

RESUMO

O alto custo com fertilizantes usados ao longo do ciclo de produção do milho, tendo em vista que esse produto possui uma grande necessidade de adubação, afeta sua lucratividade final. Logo, a utilização de fertilizantes alternativos pode aumentar o lucro da produção. Como fertilizante alternativo, pode ser usado o biofertilizante proveniente da digestão anaeróbia dos resíduos da suinocultura, que são prejudiciais para o meio ambiente, se manejados de maneira incorreta. A digestão anaeróbia é uma tecnologia que pode aliar a estabilização de tal resíduo à geração de uma fonte de energia limpa e renovável e um insumo agrícola rico em nutrientes, isto é, o biogás e o biofertilizante. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso do biofertilizante proveniente da digestão anaeróbia da água residuária da suinocultura como fonte de nutrientes para a cultura do milho de segunda safra. O ensaio foi conduzido em uma área de 13x40m dividida em 20 parcelas. Foram avaliados cinco tratamentos em quadruplicatas. Os tratamentos consistiram em duas dosagens de biofertilizante (100 e 50%), baseadas na necessidade nutricional do milho em nitrogênio (N), e duas formas de aplicação, sobre a planta (P) e na base (B), além de um tratamento controle, que usou, exclusivamente, adubação mineral. Foram avaliadas a produtividade, análise de crescimento (cinco coletas a cada 20 dias) e diagnose foliar quando 50% das plantas apresentarem inflorescência feminina. Todos os tratamentos apresentaram valores iguais ($p < 0,05$) para produtividade, porém, na análise de crescimento, os tratamentos que receberam 100%N via biofertilizante (100%NP, 100%NB) e adubação mineral (controle) se destacaram na maioria dos índices. Dentre os valores encontrados na diagnose foliar, todos os tratamentos apresentaram valores de Nitrogênio satisfatórios, diferentemente do Fósforo, que evidenciou valores muito abaixo dos padrões estabelecidos pela literatura, porém, tais valores não se diferenciaram estatisticamente ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Por fim, conclui-se que o uso de biofertilizante, para substituir total ou parcialmente a necessidade de nitrogênio ao milho de segunda safra, é viável, pois não afeta a produtividade da cultura.

Palavras-chave: resíduo agroindustrial; fertilizante líquido; reaproveitamento nutricional.

AGRONOMIC VALUE OF SWINE WASTEWATER: THE USE OF BIOFERTILIZER IN THE SECOND-CROP CORN

ABSTRACT

Because corn requires a substantial amount of fertilizer, the high cost of the nutrients used throughout the corn production cycle has an impact on its final profitability. Therefore, using alternative fertilizers can increase production profit. A biofertilizer derived from the anaerobic digestion of swine wastewater, which is harmful to the environment if handled incorrectly, can be used as an alternative. Anaerobic digestion is a technology that can combine waste stabilization with the generation of a clean, renewable energy source and nutrient-rich agricultural input, namely, biogas and biofertilizer. Thus, the objective of this paper was to assess the use of biofertilizer derived from the anaerobic digestion of swine wastewater as a source of nutrients for the second-crop corn. The experiment was carried out on a 13x40m platted area divided into 20 plots. In quadruplicate, five treatments were evaluated. The treatments included two doses of biofertilizer (100 and 50%) based on the corn's nutritional requirement of nitrogen (N) and two forms of application, on the plant (P) and on the base (B), as well as a control treatment, that used only mineral fertilizers. When 50% of the plants displayed female inflorescences, productivity, growth analysis (five collections every 20 days), and foliar diagnosis were evaluated. In the productivity analysis, all treatments showed equal values ($p < 0.05$), but in the growth analysis, the treatments that received 100 percent N via biofertilizer (100%NP, 100%NB) and mineral fertilization (control) stood out in most of the indexes. All treatments had satisfactory Nitrogen values among the values found in the foliar diagnosis, except for Phosphorus, which had values far below the standards established in the literature, but such values did not differ ($p < 0.05$) between treatments. Finally, it is concluded that using biofertilizer to replace completely or partially nitrogen requirements for second-crop corn is feasible because it has no effect on crop yield.

Keywords: agroindustrial waste; liquid fertilizer; nutritional reuse.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Fases de desenvolvimento da cultura do milho	17
3.2 Aspectos gerais da produção de milho	18
3.2.1 Milho primeira safra	19
3.2.2 Milho safrinha ou de segunda safra	20
3.2.3 Nitrogênio	22
3.2.4 Potássio	23
3.2.5 Fósforo	23
3.3 Produção de suínos no Brasil.....	24
3.4 Biofertilizante e digestão anaeróbia	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1. Produção do biofertilizante	31
4.1.3 Métodos analíticos.....	32
4.2. Condução do experimento no milho	33
4.2.1 Descrição do local	33
4.2.2 Configuração do experimento.....	33
4.2.3 Métodos analíticos.....	35
Caracterização do solo e recomendação de adubação	35
4.2.4 Análise de produtividade	37
4.2.5 Diagnose foliar	37
4.2.6 Análise de crescimento quantitativo.....	38
4.2.7 Índices fisiológicos.....	38
Índice de área foliar (IAF)	38
Taxa de crescimento absoluto (TCA)	39
Taxa de crescimento relativo (TCR)	39
Taxa de crescimento relativo da área foliar (TCR _{AF})	39
Razão de área foliar (RAF).....	39
Área foliar específica (AFE).....	40

4.2.8 Análises estatísticas	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1 Produtividade	41
5.2 Diagnose foliar	42
5.3 Análise de crescimento	42
6 CONCLUSÕES	49
7 REFERÊNCIAS	50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 OFERTA E DEMANDA MUNDIAL DO MILHO EM 2019 (MILHÕES DE TONELADAS).	19
TABELA 2 ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA O CULTIVO DE MILHO SEGUNDA SAFRA NO ESTADO DO PARANÁ.....	22
TABELA 3 ADUBAÇÃO POTÁSSICA PARA O CULTIVO DE MILHO SEGUNDA SAFRA NOESTADO DO PARANÁ.	23
TABELA 4 ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA O CULTIVO DE MILHO SEGUNDA SAFRA NO ESTADO DO PARANÁ.....	24
TABELA 5 PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE ESTERCO (L), POR ANIMAL POR FASE.	27
TABELA 6 CARACTERÍSTICAS DOS DEJETOS FRESCOS DE SUÍNOS, CONSIDERANDO-SE SOMENTE ESTERCO E A URINA, EXPRESSO POR 1.000 KG DE PESO VIVO.	28
TABELA 7 CARACTERIZAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE UTILIZADO.	31
TABELA 8 FERTILIZANTE MINERAL UTILIZADO NO EXPERIMENTO.	34
TABELA 9 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CADA FONTE DE NUTRIENTE	34
TABELA 10 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS SUBMETIDOS NO MILHO DE SEGUNDA SAFRA.....	35
TABELA 11 RESULTADOS DA ANÁLISE DO SOLO.....	36
TABELA 12 RECOMENDAÇÕES PARA O CULTIVO DO MILHO NA ÁREA	36
TABELA 13 VALORES DE REFERÊNCIA DOS TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES CONSIDERADOS ADEQUADOS PARA A CULTURA DO MILHO	38
TABELA 14 CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES DETERMINADOS NA FOLHA NOS DIFERENTES TRATAMENTOS.	43
TABELA 15 PARÂMETROS FITOMÉTRICOS REFERENTE À MÉDIA DE OITO AMOSTRAS DE CADA TRATAMENTO NA COLETA DE 100 DAE.....	42
TABELA 16 VALORES MÉDIOS PARA TAXA DE CRESCIMENTO ABSOLUTO (TCA), TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR), TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO DA ÁREA FOLIAR (TCRAF), TAXA ASSIMILATÓRIA LÍQUIDA (TAL) E RAZÃO DE ÁREA FOLIAR (RAF), ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (AFE), EM QUATRO PERÍODOS DE AMOSTRAGEM.	43
TABELA 17 EQUAÇÕES E COEFICIENTES DE CORRELAÇÕES.....	46

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO DO MILHO	18
FIGURA 2 PRODUÇÃO DE MILHO DE PRIMEIRA SAFRA NO BRASIL.	20
FIGURA 3 PRODUÇÃO DE MILHO DE SEGUNDA SAFRA NO BRASIL.	21
FIGURA 4 PRODUÇÃO BRASILEIRA DE SUÍNOS DE 2011 A 2020 (MILHÕES DE TONELADAS).	25
FIGURA 5 PERCENTUAL DE ABATE DE SUÍNOS POR ESTADOS BRASILEIROS.	26
FIGURA 6 DESENHO ESQUEMÁTICO DO CORTE TRANSVERSAL DO REATOR MODELO SEMICONTÍNUO.	32
FIGURA 7 PRODUTIVIDADE DO MILHO AO FINAL DO CICLO VEGETATIVO (SC/HA), CV=30,31%	41
FIGURA 8 AUMENTO DA MASSA SECA TOTAL EM FUNÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA. ...	44
FIGURA 9 PRECIPITAÇÃO ACUMULADA ENTRE COLETAS.	45
FIGURA 10 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) DE CINCO TRATAMENTOS SUBMETIDOS AO MILHO SAFRINHA, EM DIFERENTES ÉPOCAS DE COLETA. PLANTAS CULTIVADAS EM CAMPO. OS PONTOS REFEREM-SE ÀS MÉDIAS AMOSTRAIS DE DUAS PLANTAS/TRATAMENTO/COLETA (0,7402<R2<0,9144).	46
FIGURA 11 TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR = TAL * RAF) EM FUNÇÃO DO TEMPO.	47

1 INTRODUÇÃO

A produção e comercialização de milho são expressivas no mundo. Isso ocorre devido à grande importância da utilização de seus grãos em outros segmentos industriais. O Brasil, por exemplo, produziu cerca de 95 milhões de toneladas e exportou 29 milhões de toneladas em 2019 (USDA, 2019).

Entretanto, o alto custo de produção do milho afeta sua lucratividade final, tornando estratégico o uso de insumos alternativos, como o biofertilizante, proveniente do processo de digestão anaeróbia.

Segundo informação da Conab (2021), para a safra 2020/21, é esperada uma produção total de 93,4 milhões de toneladas, ou seja, redução de 8,9% em relação à safra 2019/20. Para os dados de consumo doméstico, a Conab reduziu sua projeção de consumo doméstico para 71,3 milhões de toneladas, aumento de 3,9%, em relação ao observado na safra anterior. Entretanto, compete destacar que o volume total de milho a ser consumido internamente é o maior da série projetada pela Conab, o qual segue o bom desempenho do setor de proteína animal brasileiro, principal setor demandante do grão no país.

No setor de produção de proteína animal, o Estado do Paraná destaca-se nacionalmente como o maior produtor de carne de frango (35,47%), segundo maior produtor de carne de suíno (21,10%) e de leite (12,45%) (CONAB,2021).

Dentre os segmentos mencionados, a suinocultura destaca-se pela expressiva quantidade de resíduos gerados, principalmente em função do sistema de criação adotado, a lâmina de água. Esse resíduo, denominado de água residuária da suinocultura (ARS), apresenta propriedades físicas, químicas e biológicas que o caracterizam como passivo ambiental e, portanto, necessita de uma destinação ambientalmente correta.

Nesse sentido, o processo de digestão anaeróbia (DA) tem se difundido como uma estratégia para promover o saneamento e a valorização dos resíduos gerados. Entretanto, considerando o tripé saneamento, energia e nutrientes, pouca atenção é dada ao biofertilizante, quando comparado ao saneamento e principalmente ao biogás.

O biofertilizante é um fertilizante renovável, como mencionado por Sigurnjak *et al.* (2017), ao reconhecerem tal insumo como uma fonte valiosa de nitrogênio. Uma de suas principais características é a expressiva porcentagem (mais de 60%) de amônio no nitrogênio total (COSTA *et al.*, 2016). O amônio, juntamente com o nitrato, são as formas do nitrogênio passíveis de serem imediatamente absorvidas pelo sistema radicular das plantas. Considerando o uso do biofertilizante como fonte de nutrientes para a produção vegetal, várias estratégias de recomendação têm sido avaliadas, as quais variam visando à substituição total ou parcial da adubação mineral. Nesse sentido, como forma de aferir o status nutricional das culturas, tem-se empregado a metodologia de diagnose foliar.

Porém, pouca atenção tem sido propiciada às alterações fisiológicas provocadas pela substituição total ou parcial da adubação mineral pelo uso do biofertilizante. A análise de crescimento é uma ferramenta útil para avaliar as diferenças fisiológicas durante o ciclo das culturas em função da imposição de diferentes situações.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar estratégia de adubação, utilizando o biofertilizante proveniente da DA da ARS, como fonte de nutrientes para a cultura do milho de segunda safra, comparada à adubação mineral.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o uso do biofertilizante, visando à substituição total ou parcial da quantidade de nitrogênio necessária para a cultura do milho de segunda safra.
- Avaliar o status nutricional do milho quando utilizada a adubação mineral ou o biofertilizante.
- Avaliar, por meio da análise de crescimento, as alterações fisiológicas da cultura quando utilizada adubação mineral exclusiva ou aliada com o biofertilizante.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Fases de desenvolvimento da cultura do milho

Com o aumento gradativo no desenvolvimento de tecnologias para o milho, adubação, defensivos, tratamentos culturais e híbridos, devemos entender a importância e as fases críticas dessa cultura. Seguindo o conhecimento, pode-se planejar melhor a época de semeadura e manejo, visando à necessidade do tipo de semente cultivada, para, assim, maximizar seu potencial produtivo (WEISMANN, 2008).

O milho é uma cultura que necessita de uma grande quantidade de água em seu ciclo. Em uma variedade de ciclo médio cultivada para a produção de grãos secos, é necessária uma precipitação de 400 a 700 mm no ciclo completo (ANDRADE *et al.*, 2006). Períodos de estresse hídrico diminuem muito o desenvolvimento da planta no início do ciclo, por exemplo, em dois dias após o florescimento, o rendimento diminui mais de 20%; de quatro a oito dias, diminuem em mais de 50%. O efeito de falta de água, associado à produção de grãos, é particularmente importante em três estágios de desenvolvimento da planta (Figura 1): a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado (V3); b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado (V3); a presença de água também é muito importante nessa fase, para evitar a desidratação do pólen, garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico; c) enchimento de grãos (R1), quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese, em que o estresse resulta na menor produção de carboidratos, o que implica menor volume de matéria seca nos grãos (MAGALHÃES *et al.*, 2006).

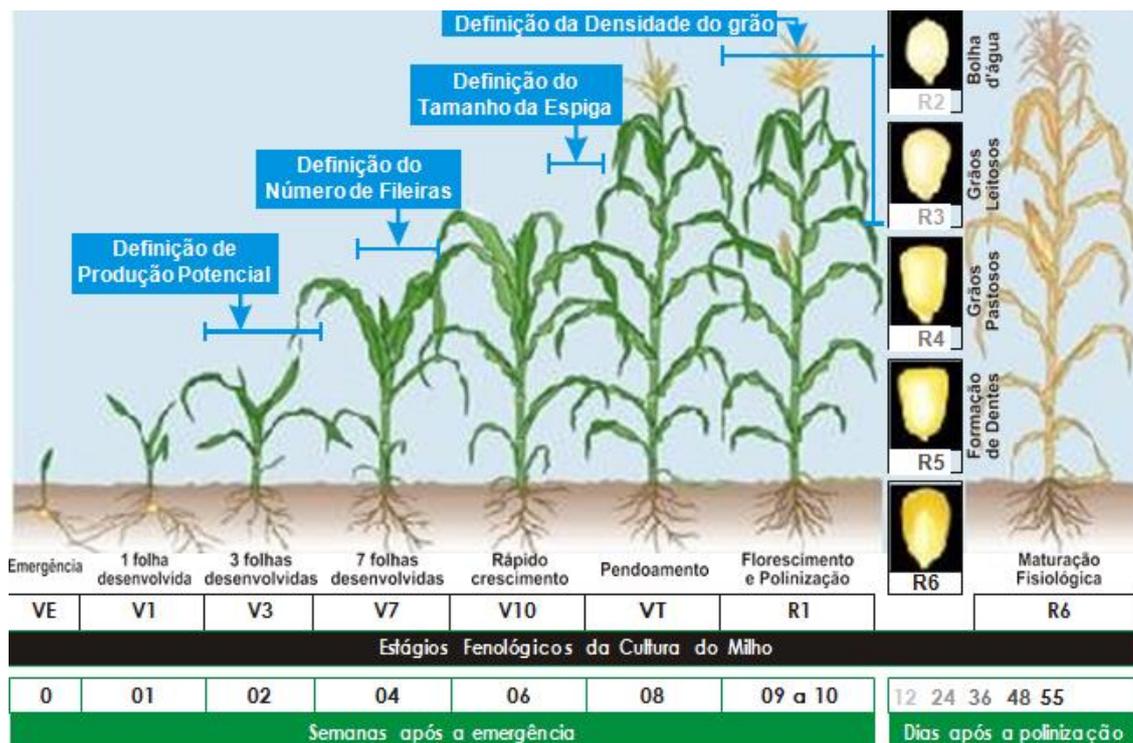


Figura 1 Estádios de desenvolvimento do milho
 Fonte: WEISMANN (2008).

3.2 Aspectos gerais da produção de milho

O Brasil é o terceiro produtor mundial de milho, com 94,5 milhões de toneladas, em 2019, seguindo a China, em segundo lugar, com 256 milhões de toneladas; depois, os Estados Unidos lideram o ranking, com 371,5 milhões de toneladas. Na Tabela 1, observa-se que o Brasil é o segundo maior exportador do produto, enquanto a China exporta muito pouco de sua produção, apenas 0,05 milhões de toneladas das 256 toneladas produzidas (Tabela 1) (USDA, 2019).

Tabela 1 Oferta e demanda mundial do milho em 2019 (milhões de toneladas).

Região	Suprimento			Consumo			Estoque Final
	Estoque final	Produção	Importação	Forragem	Total	Exportação	
Mundo	340,2	1099,9	159,74	689,74	1124,59	166,46	308,803
Estados Unidos	54,4	371,5	1,14	139,71	319,55	62,23	45,25
Principais Exportadores	14	149	1,01	70,3	90,6	58,9	14,52
Argentina	2,4	42,5	0,01	8,5	12,4	28	4,48
Brasil	9	94,5	1	56	66,5	29	9,02
África do sul	2,6	12	0	5,8	11,7	1,9	1,02
Principais importadores	23,6	127,3	90,21	162,95	216,9	5,44	18,62
Egito	1,8	6,8	9,7	13,7	16,2	0,01	1,98
União Europeia	9,9	60,4	21	64	83	1,5	6,76
Japão	1,4	0	15,5	11,9	15,5	0	1,4
México	5,7	26	16,7	25,5	43,7	1,3	3,43
Sudeste da Ásia	2,9	34	17,11	39,85	48,2	2,63	3,19
Coréia do Sul	1,9	0,1	10,2	8	10,3	0	1,86
Outros Seleccionados	228,8	356,2	6,67	225,09	316,69	67,4	213,6
Canadá	2,4	13,9	1,2	85,5	13,9	1,6	1,97
China	222,5	256	5	194	276	0,05	207,49
FSU -12	2,5	51,3	0,45	17,09	19,89	37,75	2,61
Ucrânia	1,4	35	0,03	5,5	6,9	28	1,53

Fonte: USDA (2019).

3.2.1 Milho primeira safra

A safra no Paraná obteve um acréscimo de 2,2% em relação à área plantada no ciclo anterior, ocupando, assim, em grande parte, áreas onde eram cultivados o feijão e a soja. Esse acréscimo na semeadura tem sido motivado pela melhora no preço do cereal (CONAB, 2020).

Não somente o Paraná apresenta grande produção na primeira safra do milho. Na Figura 2, pode-se observar a produção distribuída no Brasil. As maiores produções concentram-se em três estados, Paraná, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (CONAB, 2019).

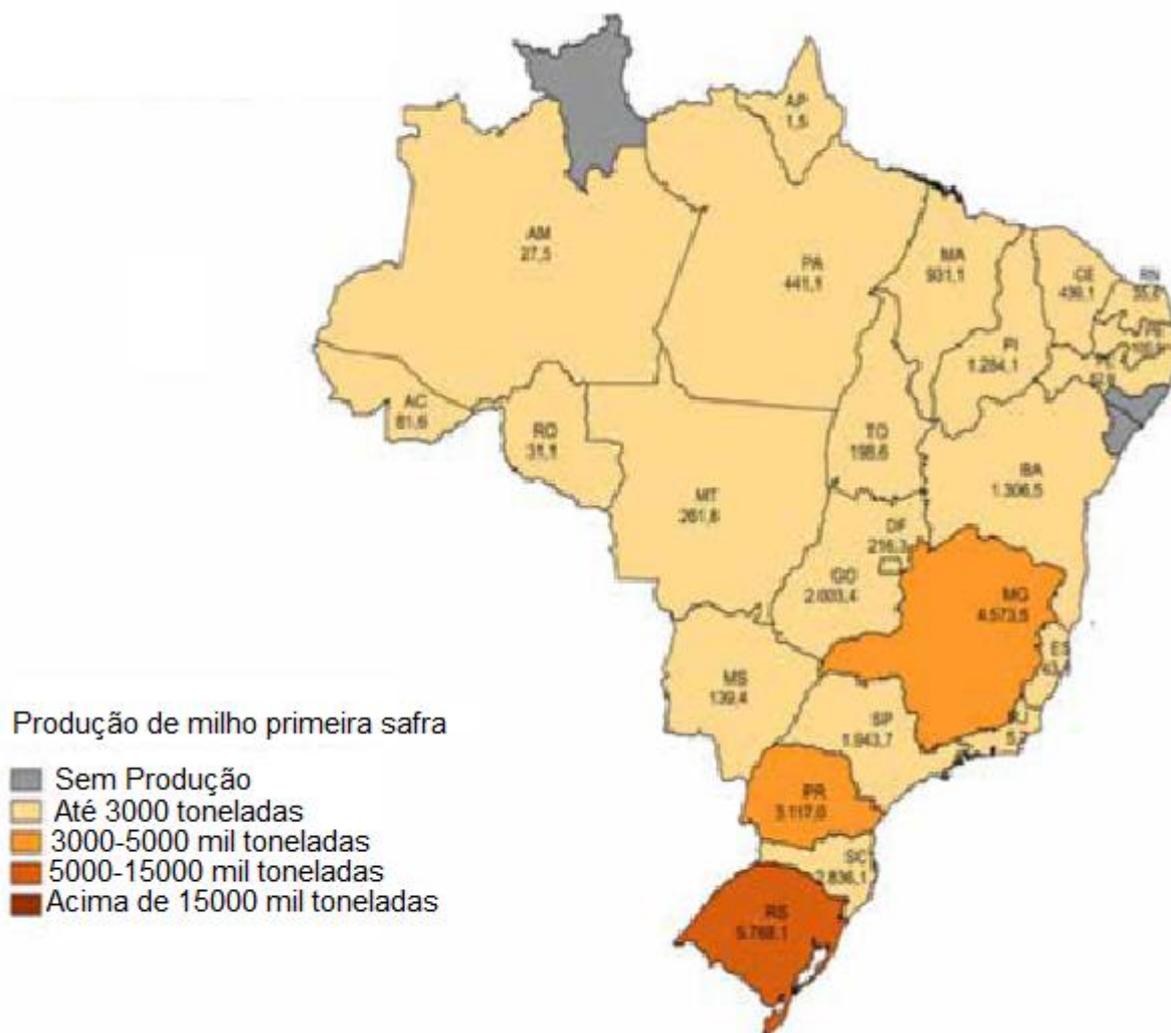


Figura 2 Produção de milho de primeira safra no Brasil.
 Fonte: CONAB (2019).

3.2.2 Milho safrinha ou de segunda safra

As condições climáticas no estado do Paraná são favoráveis à implantação da segunda safra (principal) de milho, com a mudança meteorológica que vem proporcionando chuvas regulares com períodos de calor, o que auxilia a obtenção de grandes produtividades (CONAB, 2019).

Na Figura 3, observa-se que o estado que mais cultiva o milho segunda safra é o Mato Grosso. Esse comportamento é devido à semeadura após a colheita da soja. Alguns estados que não possuem clima adequado para a implantação da primeira safra de milho acabam implantando a segunda safra, quando outros, que plantam a primeira safra, não aderem à segunda. O motivo disso, juntamente com o clima, é a época de semeadura de culturas regionais que substituem o milho (CONAB, 2019).

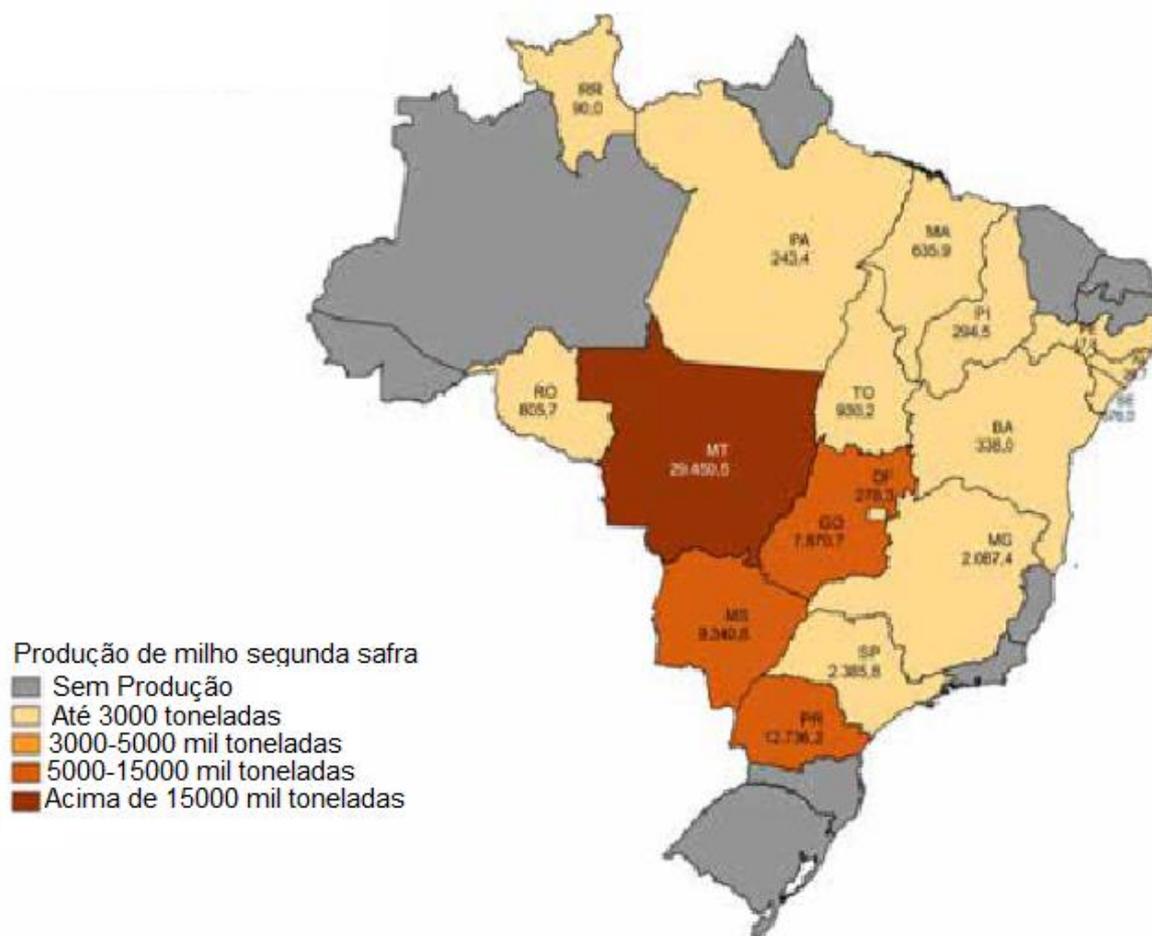


Figura 3 Produção de milho de segunda safra no Brasil.
Fonte: CONAB (2019).

Segundo Casagrande e Fornasier Filho (2002), o cultivo do milho (*Zea mays* L.) apresenta viabilidade econômica para o produtor. Além de ser atrativo financeiramente, o milho de segunda safra proporciona rotação de culturas e manutenção dos restos culturais em sistema de plantio direto. A sucessão de cultivos distintos proporciona equilíbrio de nutrientes no solo e aumenta a fertilidade, além de permitir melhor utilização de insumos agrícolas. Para objetivar essa sucessão de cultivos, o milho de segunda safra vem ganhando espaço desde a década de 90 (YAMADA e ABDALLA, 2000), tornando-se, assim, a principal cultura de outono-inverno, semeada após a soja. Por ser uma cultura que necessita de carga nutricional diferente da soja, é necessário que haja uma recomendação adequada dos nutrientes, após novas análises de solo, pois isso ditará a produção e a eficiência no desenvolvimento da cultura do milho.

3.2.3 Nitrogênio

O cultivo do milho de segunda safra ocorre, geralmente, após a cultura da soja, sendo comum que os agricultores utilizem o resto de adubos adquiridos. Porém, adubos para a cultura da soja são diferentes dos recomendados para o milho por não possuírem nenhum teor de N na sua formulação, ou, em algumas vezes, quando apresentam, esse teor é muito baixo. Isso implica uma produtividade baixa, já que o N é um nutriente limitante na cultura do milho (YAMADA e ABDALLA, 2000; SOUZA e SORATTO, 2006, GALVÃO *et al.*, 2009). A limitação do N ocorre porque o milho necessita desse macronutriente para a produção do grão. Segundo Broch e Ranno (2012), são extraídos 25 kg de N do solo por tonelada de grão produzido.

Os teores de N no solo não são considerados para recomendação de adubação em função das dificuldades dinâmicas e metodológicas. O solo possui nitrogênio, porém, a maior parte está na forma orgânica e sua disponibilidade depende da decomposição da matéria orgânica (CANTARELLA, 2007). Sendo assim, a definição da dose de adubação do nitrogênio é recomendada em função do teor de matéria orgânica no solo e pelo histórico da área (COELHO *et al.*, 2008).

A mineralização libera, em média, 20 kg de N para cada 1% de matéria orgânica do solo (COELHO *et al.*, 2008). Em um solo com 3% de matéria orgânica (30 g kg⁻¹), seriam liberados 60 kg ha⁻¹ de N.

Na Tabela 2, pode-se observar uma recomendação de adubação Nitrogenada do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), a qual utiliza, como referência para a recomendação, a produtividade esperada e as culturas que antecedem o cultivo do milho de segunda safra.

Tabela 2 Adubação Nitrogenada para o cultivo de milho segunda safra no Estado do Paraná.

Época de Aplicação	Produtividade de grãos esperada (t.ha ⁻¹)			
	<8	8 á 10	11 á 12	>12
	N(kg.ha ⁻¹)			
	Cultura anterior gramínea			
Semeadura	20 á 30	20 á 30	30 á 40	30 á 40
Cobertura	50 á 80	81 á 110	111 á 140	141 á 170
	Cultura anterior leguminosa			
Semeadura	10 á 20	10 á 20	20 á 30	20 á 30
Cobertura	40 á 60	61 á 80	81 á 100	101 á 120

* Fonte: Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

3.2.4 Potássio

O potássio é o segundo elemento de maior absorção pelo milho, seguindo apenas o nitrogênio. Até um tempo atrás, as adubações de potássio eram pobres e feitas com baixa frequência, devido, principalmente, aos baixos níveis de produtividade obtidos. Entretanto, essas adubações foram revisadas por conta de novas variedades da cultura e pelo histórico de aplicação de adubos com baixos teores de potássio (ALVES *et.al.*, 1999).

Segundo Gonçalves Júnior *et al.* (2007), doses de fertilizantes com mais de 100 kg ha⁻¹ de potássio, em sua formulação, propiciam maiores produtividades na cultura do milho, porém, os autores indicam que a dosagem desse nutriente não ultrapasse os 120 kg ha⁻¹.

Na Tabela 3, pode-se observar uma recomendação para adubação potássica do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), a qual utiliza, como referência para a recomendação, a produtividade esperada e o teor deste nutriente encontrado na análise do solo.

Tabela 3 Adubação potássica para o cultivo de milho segunda safra no Estado do Paraná.

K no solo	Produtividade de grãos esperada (t.ha ⁻¹)			
	<8	8 á 10	11 á 12	>12
	K ₂ O(kg.ha ⁻¹)			
Muito baixo	70 á 90	91 á 110	Inviável	Inviável
Baixo	50 á 70	71 á 90	91 á 110	Inviável
Médio	30 á 50	51 á 70	71 á 90	91 á 110
Alto	10 á 30	31 á 50	51 á 70	71 á 90
Muito alto	0 á 10	11 á 30	31 á 50	51 á 70
Condição a evitar	0	0	0	0

* Fonte: Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

3.2.5 Fósforo

O fósforo não é muito requisitado pelo milho, se comparado ao nitrogênio e ao potássio. As altas doses recomendadas não são devido à necessidade do milho e, sim, em função da baixa eficiência (20% a 30%) de aproveitamento pela cultura. Isso acontece por causa da grande eficiência do solo em fixar tal nutriente por meio de mecanismos de adsorção e precipitação, reduzindo, assim, a disponibilidade direta para a planta (NOVAIS *et al.*, 2007). No contexto de bloqueio de fósforo pelo solo, Anghinoni (2007) relata que, com o sistema plantio direto, tem-se melhor disponibilidade do elemento, pois, com o baixo

revolvimento do solo, os fertilizantes não entram em contato direto com as partículas de argila e o acúmulo de matéria orgânica favorece o bloqueio de sítios de adsorção.

Na Tabela 4, pode-se observar uma recomendação para a adubação fosfatada do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), a qual utiliza, como referência para a recomendação, a produtividade esperada e o teor desse nutriente encontrado na análise do solo.

Tendo em vista que a cadeia produtiva de grãos e cereais é dependente da reposição de nutrientes, o aproveitamento dos resíduos gerados em outros sistemas de produção torna-se questão de bom senso em alinhamento com as premissas da economia circular.

Tabela 4 Adubação fosfatada para o cultivo de milho segunda safra no Estado do Paraná.

P no solo	Produtividade de grãos esperada (t.ha ⁻¹)			
	<8	8 á 10	11 á 12	>12
	P ₂ O ₅ (kg.ha ⁻¹)			
Muito baixo	80 á 100	101 á 120	Inviável	Inviável
Baixo	60 á 80	81 á 100	101 á 120	Inviável
Médio	40 á 60	61 á 80	81 á 100	101 á 120
Alto	20 á 40	41 á 60	61 á 80	81 á 100
Muito alto	<20	21 á 40	41 á 60	61 á 80
Condição a evitar	0	0	0	0

* Fonte: Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

3.3 Produção de suínos no Brasil

A produção de suínos no Brasil tem aumentado nos últimos dois anos (2019-2020). De um ano para o outro, a produtividade aumentou de 3,98 milhões de toneladas para 4,43 milhões de toneladas (Figura 4), atingindo, assim, a quarta colocação no *ranking* mundial. O que mais se destaca é a diferença de produtividade do Brasil para o terceiro colocado (EUA), que produziu, em 2020, 12,841 milhões de toneladas, evidenciando o potencial produtivo do Brasil. A produção de suínos não acompanha a exportação no país, pois, do total de produção, apenas 23% são destinados para exportação (ABPA, 2021). Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021), a produção de carnes (bovina, suína e aves), entre 2020/21 e 2030/31, deverá aumentar em 6,6 milhões de toneladas. Isso representa um acréscimo de 24,1%. As carnes de frango e suínos são as que devem apresentar maior crescimento nos próximos anos: carne de frango 27,7%, suíno, 25,8%.

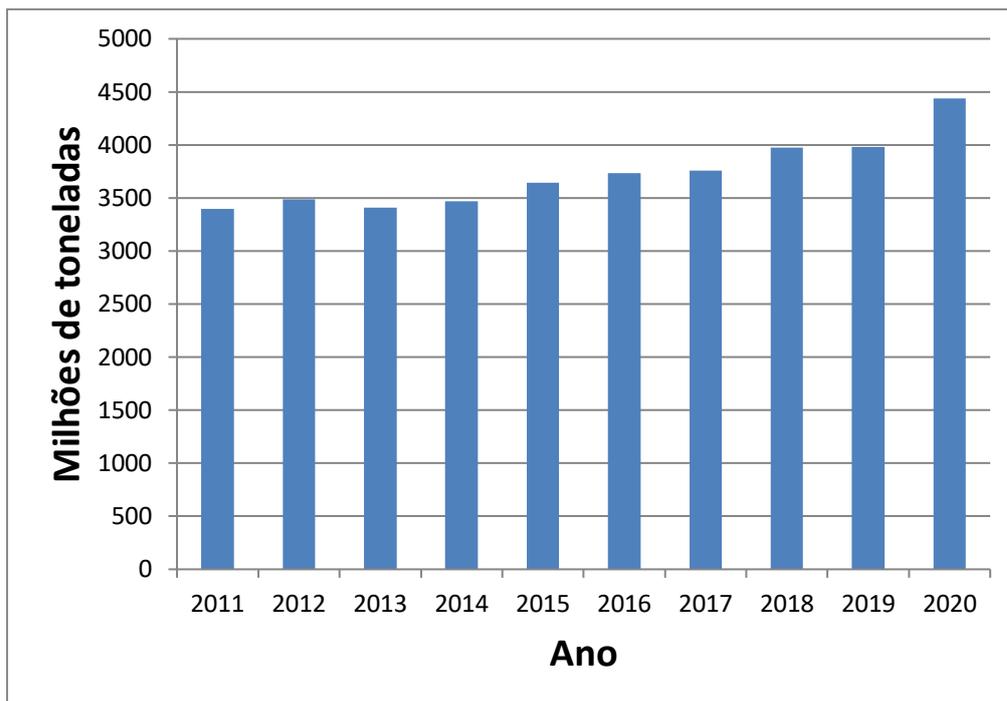


Figura 4 Produção brasileira de suínos de 2011 a 2020 (milhões de toneladas).

Nos últimos tempos, a expansão da cadeia produtiva da suinocultura tem sido elevada em razão da demanda nacional e internacional. Com essa demanda sendo aumentada, tornou-se um grande atrativo de investimento para o Brasil pela sua grande área e climas favoráveis (GARTADELO e MELTZ, 2014).

A Região Sul do Brasil, sobretudo o Estado de Santa Catarina, é responsável por mais da metade de toda a produção e abate de suínos do país (Figura 5). Existem dois principais fatores que permitem tal expressividade. O primeiro é a grande produção regional de milho e soja, que são os principais componentes da ração dos suínos. O outro é o investimento realizado na cadeia de produção e apoio governamental na região (KRABBE *et al.*, 2016).



Figura 5 Percentual de abate de suínos por estados brasileiros.
Fonte: ABPA (2021).

A produção de suínos é muito importante para a economia do País. A carne de suíno, segundo o estudo do *Mapa da suinocultura brasileira*, exerceu grande influência no produto interno bruto (PIB) do SAG de suínos do Brasil, apresentando um valor de R\$62,5 bilhões, além de movimentações na economia de R\$150 bilhões, considerando os serviços (SEBRAE; ABCS, 2016).

Apesar de a grande produção de suínos ser economicamente vantajosa e importante para o Brasil, tem-se que considerar os resíduos dessa produção. A cadeia produtiva de suínos gera grandes quantidades de resíduos, por critérios de higienização, e descarte daquilo que não pode mais ser aproveitado. Porém, alguns resíduos podem ser transformados em subprodutos passíveis de agregar valor à cadeia produtiva. A utilização de biodigestores é uma alternativa tecnológica para o gerenciamento dos dejetos de suínos, o que permite a agregação de valor ao resíduo mediante a utilização do biogás, produzido em sistemas de geração de energia e calor (PERDOMO *et al.*, 2003). Para essa agregação de valores, os dejetos precisam ser fermentados previamente para evitar contaminação do solo, das plantas e da água. Quando devidamente fermentados, podem ser usados para adubação via solo e produção de culturas, associado ao seu alto valor nutricional (SEDIYAMA *et al.*, 2009).

Segundo Gonçalves Junior (2008), os dejetos suinícolas são compostos de fezes, urina, resíduo da lavagem das baias, restos de rações, pó e pelos dos animais. O ciclo completo da criação de suínos gera de 140 a 170 L dia⁻¹ por fêmea no plantel; para o núcleo de produção de leitões, o volume de dejetos por matriz no plantel é de 35 a 40 L dia⁻¹ e 114

L dia⁻¹ na terminação (leitões de 25 a 110 kg). A produção diária varia de 12 a 15 L suíno⁻¹, para os sistemas de manejo líquido, ou seja, que utilizam água para limpeza das baias (MENEZES *et al.*, 2003).

A produção de dejetos na suinocultura é influenciada por alguns fatores, como o manejo, o método de higienização, o tipo dos bebedouros, o número de animais e as categorias em que esses se encontram. Machado e Sonegatti (2003) fizeram uma estimativa do volume de dejetos, em função do estado do animal, em uma propriedade localizada em Dois Vizinhos - PR, porém, esses valores, contidos na Tabela 5, estão estimados apenas pela análise de esterco + urina. Dependendo do sistema de limpeza e da dessedentação do animal, esses valores devem ser ajustados devido à diluição que esses dejetos podem sofrer.

Tabela 5 Produção média diária de esterco (L), por animal por fase.

Categoria de Suínos	Cabeças	Volume Dejetos Unitário/Dia (L)	Volume Total (cab.X vol./dia)
Fêmeas (Maternidade)	328	27	8856
Machos	25	9	225
Suínos em terminação	30	7	210
Leitoas	60	16	960
Leitões (creche)	1300	1,4	1540
Total	1743		11791 litros

Fonte: Machado e Sonegatti (2003).

As propriedades físico-químicas dos dejetos (Tabela 6) estão relacionadas ao sistema de manejo dos animais empregados e aos aspectos das rações, alterando concentrações dos elementos entre produtores e na própria granja. A Tabela 6 (ASAE, 1993) apresenta as características dos dejetos de suínos sem considerar a diluição que pode acontecer devido ao desperdício de água na limpeza e nos bebedouros. O uso da Tabela 6 permite que qualquer pessoa possa estimar as características físico-químicas dos dejetos de suínos. A exemplo, em relação a um suíno em terminação, simplificando o uso da tabela 5, pode-se obter tais dados: DBO_5 suínos em terminação = $(100 \text{ kg} \div 1.000 \text{ kg}) \times 3,1$ (valor DBO_5 da Tabela 6 DBO_5 suínos 100 kg = 3,1 kg (produção diária). Sendo assim, um suíno com 100 kg de peso vivo produz diariamente 3,1 kg de DBO_5 . Estendendo-se o cálculo para uma granja com 500 animais de mesmo peso médio, temos: $500 \times 3,1 = 1550$ kg de DBO_5 produzidos por dia diluídos em 3500 Litros de dejetos líquidos, na granja.

Tabela 6 Características dos dejetos frescos de suínos, considerando-se somente esterco e a urina, expresso por 1.000 kg de peso vivo.

Parâmetro	Unidade	Valor	Desvio Padrão
Volume total	Kg	84	24
Urina	kg	39	4,8
Densidade	kg/m ³	990	24
Sólidos totais	Kg	11	6,3
Sólidos Voláteis	Kg	8,5	0,66
DBO ₅	Kg	3,1	0,72
DQO	Kg	8,4	3,7
pH	-	7,5	0,57
Nitrogênio Kjeldahl (N _{total})	Kg	0,52	0,21
Nitrogênio Amoniacal	Kg	0,29	0,10
Fósforo total (P)	Kg	0,18	0,10
Potássio total (K)	Kg	0,29	0,16

Fonte: ASAE (1993).

Bosch-Serra *et al.* (2014) também estimaram o teor de Nitrogênio amoniacal no dejetos suíno, chegando a um teor de 60% do Nitrogênio Total.

As Tabelas 5 e 6 estimam com certa precisão as características quantitativas e qualitativas dos dejetos de suínos para fins de projeto de unidades de armazenamento e tratamento.

3.4 Biofertilizante e digestão anaeróbia

Diferentes cadeias produtivas de proteína animal apresentam em comum a produção de resíduos na forma de materiais orgânicos, que são potencialmente poluidores quando dispostos de forma inadequada no ambiente. Porém, existem processos biológicos que promovem a estabilização dos resíduos orgânicos, diminuindo, assim, os riscos ambientais. Dentre os processos biológicos de estabilização, a digestão anaeróbia destaca-se por possibilitar o reaproveitamento da energia e dos nutrientes a partir da degradação de materiais orgânicos, por meio do biogás e do biofertilizante (CATARINO *et al.*, 2009).

Na decomposição do material orgânico, são liberados vários macro e micronutrientes, originando, assim, o biofertilizante, que pode ser utilizado como insumo agrícola. No biofertilizante, o Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K) e Magnésio (Mg) estão parcialmente em sua forma assimilável pelas plantas. A quantidade disponível desses minerais no biofertilizante dependerá, principalmente, das características do resíduo que

será tratado. Uma das grandes vantagens da adubação com biofertilizante é a elevada concentração de amônio (NH_4^+), que é absorvido de imediato pela planta. Além disso, o biofertilizante estabilizado possui efeito de repelência às pragas, devido à presença de substâncias fenólicas. A parte desses nutrientes que não é disponibilizada de imediato será considerada a partir da atividade biológica do solo (RAO; SINGH, 2004).

Além do biofertilizante, a digestão anaeróbia permite o aproveitamento energético de resíduos orgânicos, pois parte do carbono, que entra no sistema na forma orgânica, é recuperada na forma de metano (CH_4). O CH_4 , por sua vez, possui elevado poder calorífico e pode ser convertido em energia térmica, elétrica e mecânica (RAO; SINGH, 2004).

O biofertilizante pode ser considerado um poderoso insumo agrícola, uma vez que possui elevadas concentrações de macro e micronutrientes mineralizados ou parcialmente disponíveis, ampla diversidade de micro-organismos benéficos, matéria orgânica, substâncias húmicas e boas condições sanitárias. Todos esses atributos corroboram melhorias à fertilidade do solo, pois surtem efeitos positivos sobre a qualidade física, química e biologia do sistema pedológico (NASCIMENTO, 2010; TEJADA *et al.*, 2014; TEJADA *et al.*, 2016).

Cortez *et al.* (2008) relatam que o processo de fermentação da matéria orgânica, além de quebrar os compostos complexos, tornando-os mais disponíveis às plantas, também solubiliza parcialmente os nutrientes, possibilitando o reestabelecimento do teor de húmus do solo. Sganzerla (1983) acrescenta que o biofertilizante possui sólidos coloidais com cargas negativas que tornam seu poder de fixação de sais superior ao das argilas, beneficiando a planta e o solo, pois dificultam a lixiviação dos nutrientes, proporcionam maior resistência à ação desagregadora da água e aceleram a absorção de chuvas, o que dificulta a erosão.

A indicação da dosagem de biofertilizante a ser utilizado no solo/planta deve ser em função da análise do solo, necessidade da cultura e da análise de caracterização química do biofertilizante. Trabalhos já realizados sobre a aplicação de biofertilizante, proveniente dos dejetos de suínos, apresentam ensaios utilizando dosagens fixadas em volume ou em apenas um nutriente necessário para o desenvolvimento da planta, o que limita a aplicação pela característica físico-química, que pode variar dependendo da dieta do animal e da forma de higienização dos locais de manejo.

Bócoli (2014) realizou um estudo sobre a aplicação de biofertilizante proveniente dos dejetos suínos estabilizados em reator anaeróbio na produção do milho, utilizando dosagens de 0, 40, 80, 160, 200 e 240 m^3ha^{-1} . De acordo com os resultados obtidos pelo autor, a dosagem de 240 m^3ha^{-1} apresentou melhores resultados. Já Moreira *et al.* (2015), realizaram um estudo com a aplicação dos dejetos de suínos estabilizados em reatores anaeróbios, no milho e no milheto para a silagem, separando o experimento em doses de

biofertilizante de modo a fornecerem 0, 50, 100, 150, 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , assim, considerando um nutriente (P_2O_5) para encontrar a melhor aplicação do biofertilizante. Os autores concluíram que o tratamento, que forneceu 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , teve um rendimento semelhante ao da adubação mineral, sendo fonte de macro e micronutrientes, de maneira que pode, assim, haver a substituição da adubação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Produção do biofertilizante

O biofertilizante foi produzido no anexo do Laboratório de Análises de Resíduos Agroindustriais (LARA), localizado no bloco H da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, Paraná.

O município situa-se geograficamente entre as coordenadas 24° 57' 21" S de latitude e 53° 27' 19" W de longitude. O clima predominante da região de Cascavel, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é o Cfa - Clima Subtropical Mesotérmico. Dessa forma, os verões são quentes e as geadas pouco frequentes, com tendência de concentração de chuvas no verão e não apresenta estação seca definida. A média de temperatura anual é de 20°C e a pressão atmosférica média anual é de 936,34 hPa (IAPAR, 2019).

A caracterização do biofertilizante (Tabela 7) foi realizada pela média de três amostras.

Tabela 7 Caracterização do biofertilizante utilizado.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Cu	Fe	Mn	Mg	Zn
2,5	0,458	0,1548	77,4219	3,92445	7,4508	1,3574	0,0823	2,0795
g/L			MG/L					

A digestão anaeróbia (DA) dos dejetos de suínos foi realizada com a obtenção do biofertilizante. A DA foi feita em reatores de bancada operados em fluxo semicontínuo com volume útil de 60 litros, além de 30 dias de tempo de retenção hidráulica, recirculação e temperatura controlada (35 ± 1°C); os sólidos totais da ARS utilizada sem diluição foi de 1,78%.

Os reatores semicontínuos são confeccionados em tubos de PVC, cuja ilustração esquemática é apresentada na Figura 6. A câmara digestora dos reatores operados no sistema semicontínuo é separada do gasômetro.

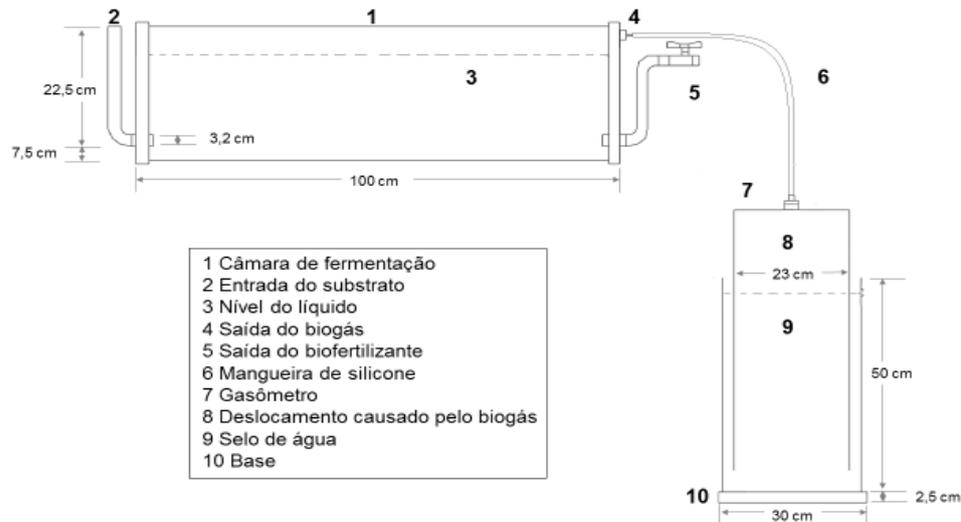


Figura 6 Desenho esquemático do corte transversal do reator modelo semicontínuo.

Os gasômetros consistem em dois tubos de PVC, um externo com 300 mm de diâmetro, que foi preenchido com água, e outro tubo com 230 mm de diâmetro, que fica submerso na água. O gás produzido na câmara de fermentação é encaminhado, por meio de uma mangueira de silicone, ao gasômetro causando, assim, o seu deslocamento sobre a coluna de água. Na região externa do gasômetro, foi fixada uma régua graduada para auxiliar a determinação dos deslocamentos.

4.1.3 Métodos analíticos

Para a caracterização físico-química do biofertilizante, foram determinados: nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo total (P), potássio (K), micronutrientes (Fe, Zn, Cu e Mn) e macronutrientes secundários (Mg e Ca) e metais (Al).

O NTK foi determinado por meio da digestão das amostras com ácido sulfúrico; em seguida, destilação utilizando o destilador de Kjeldahl e titulação com H_2SO_4 0,0025 mol (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

A determinação do P e K foi realizada mediante a digestão das amostras em solução nítrico-perclórica (3:1) com fonte externa de calor, seguida de diluição e filtração. O P foi detectado via absorvância no comprimento de onda 725 nm por meio do espectrofotômetro UV-VIS Hach®. O K foi quantificado em fotômetro de chama (MALAVOLTA *et al.*, 1997). A mesma abertura nítrico-perclórica (3:1), utilizada para determinar macronutrientes primários (P e K), serviu para determinar os micronutrientes (Fe, Zn, Cu e Mn) e macronutrientes secundários (Mg e Ca), bem como metal (Al) por meio de absorção atômica (EMBRAPA, 1999).

4.2. Condução do experimento no milho

4.2.1 Descrição do local

O cultivo do milho (Semente - P3380HR) foi realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, localizado próximo ao contorno Oeste, Aroeira, Cascavel, Paraná. O Núcleo situa-se geograficamente entre as coordenadas 24° 89' 69" S de latitude e 53° 53' 68" W de longitude. A semeadura foi realizada no dia 21 de março de 2021; a colheita aconteceu no dia 27 de agosto de 2021. O local do experimento possui área de 13 x 40 m, dividida em 20 parcelas de 3,2 m x 10 m; cada parcela possui, assim, 32 m².

O município situa-se geograficamente entre as coordenadas 24° 57' 21" S de latitude e 53° 27' 19" W de longitude. O clima predominante da região de Cascavel, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é o Cfa - Clima Subtropical Mesotérmico. Dessa forma, os verões são quentes e as geadas pouco frequentes, com tendência de concentração de chuvas no verão e não apresenta estação seca definida. A média de temperatura anual é de 20°C e a pressão atmosférica média anual é de 936,34 hPa (IAPAR, 2019).

4.2.2 Configuração do experimento

O experimento foi composto por cinco tratamentos com quatro repetições cada, totalizando 20 parcelas. Os tratamentos consistiram em duas dosagens de biofertilizante, baseadas na necessidade nutricional do milho em nitrogênio (N), seguindo necessidades mediante análise do solo, duas formas de aplicação para ambos e um tratamento controle, levando exclusivamente adubação mineral. Os adubos utilizados são demonstrados na Tabela 8. Os tratamentos são demonstrados na Tabela 10.

Tabela 8 Fertilizante mineral utilizado no experimento.

FERTILIZANTE MINERAL		SIMPLES	SIMPLES	MISTO
NOME		UREIA	CLORETO DE POTÁSSIO	00-18-00
%N	Total	46	**	**
%N	Sol.Água	**	**	**
%P2O5	Sol.CNA+Água	**	**	18
%P2O5	Sol.Água	**	**	14
%K2O	Sol.Água	**	60	**
%Ca	(Cálcio)	**	**	17,3
%Mg	(Magnésio)	**	**	3,3
%S	(Enxofre)	**	**	5
%S(SO4)		**	**	5
REGISTRO MAPA		PR- 05649 10244-5	PR- 05649 10060-4	PR- 05649 10511-8

Com a caracterização do biofertilizante (Bio) e as características dos adubos minerais utilizados, foi realizado o cálculo da quantidade de biofertilizante necessário em cada tratamento para a equivalência na adubação mineral, como foi apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 Cálculo da quantidade de cada fonte de nutriente

Cálculo por Parcela/ tratamento (g)		Nutrientes levados via biofertilizante (g)			Mineral (g)		
Tratamentos	Litros de Bio	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
100% N bio	122,88	307,2	56,3	19,0	0	225,3	160,2
100% N bio	122,88	307,2	56,3	19,0	0	225,3	160,2
50% N bio	61,44	153,6	28,1	9,5	153,6	253,5	169,7
50% N Bio	61,44	153,6	28,1	9,5	153,6	253,5	169,7
Mineral	0	0	0	0	307,2	281,6	179,2

A primeira aplicação dos tratamentos foi realizada sete dias após a semeadura do milho, com a emergência total da plântula. A quantidade de biofertilizante, calculada a partir da concentração de N, foi realizada com regadores de 5 litros, seguindo cada critério de aplicação entre os tratamentos.

Antes da aplicação dos tratamentos, foi realizado um desbaste na área, visando retirar as plantas duplas, bem como para homogeneizar o plantio e evitar qualquer influência para a absorção por planta e produtividade final. As aplicações foram feitas, em sua totalidade, em cobertura. Foi efetivada a aplicação da adubação mineral total e complementar antes da aplicação dos líquidos, para auxiliar a incorporação dos nutrientes no solo.

Todos os tratamentos foram aplicados em duas etapas:

- Primeira aplicação: sete dias após a semeadura do milho. O Nitrogênio (N) foi fracionado, sendo aplicado apenas 30% da necessidade total. Já os nutrientes P e K, foram aplicados em sua totalidade, não sendo fracionados. Para não haver influência da necessidade hídrica, nos tratamentos T3, T4 e Mineral, foi aplicado um volume equivalente de água para cada tratamento, simulando uma precipitação com o crivo do regador.
- Segunda aplicação: 45 dias após a semeadura do milho. O Nitrogênio restante da necessidade de adubação (70%) foi aplicado, seguindo os parâmetros de cada tratamento; os nutrientes P e K excedentes, aplicados junto ao biofertilizante, foram corrigidos nos tratamentos, o que ocasionou a necessidade de N parcial via biofertilizante e no tratamento mineral. A complementação com água também foi efetuada nessa aplicação.

No parâmetro aplicação, houve três tipos de aplicações:

- 100% de aplicação na base, aplicado na parte inferior do caule, seguindo o sulco de semeadura, sem crivo no regador de 5 litros;
- 100% sobre a planta, aplicado sobre a planta, simulando uma chuva, de forma a seguir a linha de semeadura, utilizando o crivo do regador de 5 litros;
- A Lanço diretamente na linha de semeadura.

Tabela 10 Descrição dos tratamentos submetidos no milho de segunda safra

Aplicação	Tratamentos
Base	T1 – Dosagem de biofertilizante considerando a necessidade total de N para o milho complementando P e K com adubação mineral. (100B).
Sobre a Planta	T2 – Dosagem de biofertilizante considerando a necessidade total de N para o milho complementando P e K com adubação mineral. (100P).
Base	T3 – Dosagem de biofertilizante considerando metade da necessidade total de N para o milho complementando N, P e K com adubação mineral. (50B).
Sobre a Planta	T4 – Dosagem de biofertilizante considerando metade da necessidade total de N para o milho complementando N, P e K com adubação mineral. (50P).
Lanço na Linha	T5 – Adubação mineral.

4.2.3 Métodos analíticos

Caracterização do solo e recomendação de adubação

A caracterização de solo foi realizada em laboratório credenciado (SOLOANÁLISE, CENTRAL DE ANÁLISES LTDA). Após os resultados obtidos (Tabela 11), foi determinada a recomendação nutricional para o milho, seguindo metodologia proposta pelo Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

Tabela 11 Resultados da análise do solo.

Elementos		mg/dm ³	Cmolc/dm ³	Teor
Cálcio	Ca		4,59	Alto
Magnésio	Mg		1,61	Alto
Potássio	K	140,4	0,36	Alto
Alumínio	Al		0,31	Baixo
H + Alumínio	H + Al		9,01	Alto
Soma de Bases	S		6,56	Alto
CTC pH 7.0	T		15,57	Alto
CTC efetiva	t		6,87	Alto
		<u>g/dm³</u>		
Carbono	C		25,75	Alto
M.Orgânica	MO		44,29	Alto
		%		
Sat Alumínio	Al		4,51	Baixo
Sat Bases	V		42,13	Baixo
Argila	Arg			Baixo
		<u>mg/dm³</u>		
Boro	B		0,24	Baixo
Enxofre	S		4,59	Baixo
Ferro	Fe		27,4	Médio
Manganês	Mn		43,4	Alto
Cobre	Cu		5,2	Alto
Zinco	Zn		1,8	Médio
ph CaCl ₂			4,6	
K%	Ca%	Mg%	H%	Al%
2,31	29,48	10,34	55,88	1,99

FÓSFORO

		<u>Mg/dm³</u>	
Fósforo	P	6,38	
Fósforo Rem		8,2	
Nível crítico de fósforo	NCP	7,39	
		%	
Fósforo Relativo		86,32	
Relações	Cmolc/dm ³		
Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	
2,65	12,75	4,47	

Tabela 12 Recomendações para o cultivo do milho na área

EXIGÊNCIAS, kg ha ⁻¹		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O
120	110	70

4.2.4 Análise de produtividade

A estimativa de produção de grãos (kg ha^{-1}) foi realizada após a colheita manual e trilhagem mecânica do milho da espiga com implemento agrícola acoplado no trator, em cada parcela, desprezando as bordas (para evitar a influência entre os tratamentos). Os grãos, então, foram pesados em uma balança de plataforma de capacidade máxima de 30kg com precisão de 5g. Após a pesagem, amostras dos grãos de cada parcela foram secas em estufa a 105°C para determinação da umidade e posterior correção para 13% de umidade, que é o valor de comercialização.

4.2.5 Diagnose foliar

Para o monitoramento do milho, foi utilizado o método de diagnose foliar e, ao final do seu ciclo produtivo, foi averiguada a produtividade de grãos (kg.ha^{-1}) de cada tratamento.

Para a diagnose foliar, foi utilizada a metodologia de Martinez *et al.* (1999), sendo feita a amostragem nas parcelas em época apropriada, retirando-se folhas do terço basal da folha oposta e abaixo da primeira espiga (superior), excluída a nervura central, coletada quando 50 a 75% das plantas apresentaram inflorescência feminina. Após a coleta, as folhas foram lavadas com água destilada e acondicionadas em sacos reforçados, a fim que pudessem secar em estufa a 50°C . Os valores do estado nutricional de referência para a cultura do milho foram comparados com os resultados obtidos, segundo SBCS/NEPAR (2017), apresentados na Tabela 13.

A determinação do P e do K foi realizada após digestão das amostras em solução nítrico-perclórica (3:1), com fonte externa de calor, seguida de diluição e filtração. O P foi detectado via absorvância no comprimento de onda 725 nm por meio do espectrofotômetro UV-VIS Hach®. O K foi quantificado em fotômetro de chama (MALAVOLTA *et al.*, 1997). A mesma abertura nítrico-perclórica (3:1), utilizada para determinar macronutrientes primários (P e K), serviu para determinar os micronutrientes (Fe, Zn, Cu e Mn), macronutrientes secundários (Mg e Ca) e metal (Al), por meio de absorção atômica (EMBRAPA, 1999).

Tabela 13 Valores de referência dos teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho

Macronutrientes	Teor (g.kg ⁻¹)	Micronutrientes	Teor (mg.kg ⁻¹)
Nitrogênio	27 - 35	Cobre	6,0 - 20
Fósforo	1,9 - 4,0	Ferro	30 - 250
Potássio	17 - 35	Manganês	20 - 200
Cálcio	2,3 – 8,0	Zinco	15 – 100
Magnésio	1,5 - 5,0		

* Fonte: Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

4.2.6 Análise de crescimento quantitativo

Ao longo do crescimento das plantas, foram realizadas amostragens para determinação de massa da matéria seca e área foliar. Foram efetuadas quatro amostragens espaçadas em 20 dias, aos 20, 40, 60, 80 e 100 DAE (dias após emergência). Em cada amostragem, foram cortadas duas plantas de cada parcela e separadas em folhas, caule e espiga (no período de 100 dias). A área foliar foi estimada, no mesmo dia, utilizando o método de GUIMARÃES *et. al* (2002), o qual faz a determinação da área foliar pela Equação 1. Cada parte da planta foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 50°C, até atingirem massa constante, que foi determinada, posteriormente, gravimetricamente. Avaliou-se a massa da matéria seca total, número de espigas e área foliar.

$$\text{Área foliar} = 0,7458 * \text{Largura} * \text{Comprimento da folha}, R^2 = 0,9677 \quad \text{Equação 1}$$

4.2.7 Índices fisiológicos

Pela determinação da área foliar e da massa seca total, em quatro amostragens espaçadas de 20 dias, foi possível determinar os índices fisiológicos, descritos a seguir, com as suas respectivas fórmulas matemáticas, de acordo com vários textos dedicados à análise quantitativa do crescimento (BENICASA, 1988).

Índice de área foliar (IAF)

Calculou-se a relação da área foliar total da planta (m²), por unidade de terreno (m²) disponível para a planta:

$$\text{IAF} = \text{AF/S}$$

Em que: AF = área foliar total S = superfície do solo

Equação 2

Taxa de crescimento absoluto (TCA)

A TCA (g dia^{-1}) avalia a produtividade primária líquida. É o somatório das taxas de crescimento dos diversos componentes das plantas (REIS & MULLER, 1979; PEREIRA & MACHADO, 1987).

$$\text{TCA} = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

Equação 3

Em que: W = massa seca total t = tempo em dias 1 e 2 = duas amostragens sucessivas

Taxa de crescimento relativo (TCR)

A TCR ($\text{g g}^{-1} \text{t}^{-1}$) expressa o incremento na massa de matéria seca, por unidade de massa inicial, em um intervalo de tempo (REIS & MULLER, 1979). Para valores médios, usa-se:

$$\text{TCR} = (\text{Ln } W_2 - \text{Ln } W_1) / (t_2 - t_1)$$

Equação 4

Em que: Ln = logarítmo neperiano

Taxa de crescimento relativo da área foliar (TCR_{AF})

A TCR_{AF} ($\text{dm}^2 \text{dm}^{-2} \text{t}^{-1}$) expressa o incremento de área foliar, por unidade de área inicial, num determinado intervalo de tempo. Para valores médios, usa-se:

$$\text{TCR}_{\text{AF}} = (\text{Ln } \text{AF}_2 - \text{Ln } \text{AF}_1) / (t_2 - t_1)$$

Equação 5

Taxa assimilatória líquida (TAL)

A TAL ($\text{g dm}^{-2} \text{dia}^{-1}$) representa a taxa de incremento da massa de matéria seca por unidade de área foliar existente na planta, assumindo que, tanto AF como W, aumentam exponencialmente (BRIGGS *et al.*, 1920). Para valores médios, usa-se:

$$\text{TAL} = [(W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)] \times [(\text{Ln } \text{AF}_2 - \text{Ln } \text{AF}_1) / (\text{AF}_2 - \text{AF}_1)]$$

Equação 6

Razão de área foliar (RAF)

A RAF ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) representa a relação entre a área foliar e a massa seca total da planta. É também chamado quociente de área foliar (BRIGGS *et al.*, 1920).

$$\text{RAF} = (\text{AF} / W)$$

Equação 7

Área foliar específica (AFE)

A AFE ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) representa a relação entre a área foliar e a massa seca foliar total. A AFE indica a espessura ou densidade da folha.

$$\text{AFE} = (\text{AF} / \text{W}_F)$$

Equação 8

Em que: W_F = massa seca foliar total

4.2.8 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas pelo programa *SISVAR*: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs, seguindo os critérios impostos pelo programa nas análises Anova e teste Tukey, não sendo necessária a normalização de nenhum dado utilizado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produtividade

A Figura 7 apresenta os resultados de produtividade (sc/ha) com a umidade corrigida para 13% em todos os tratamentos. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$).

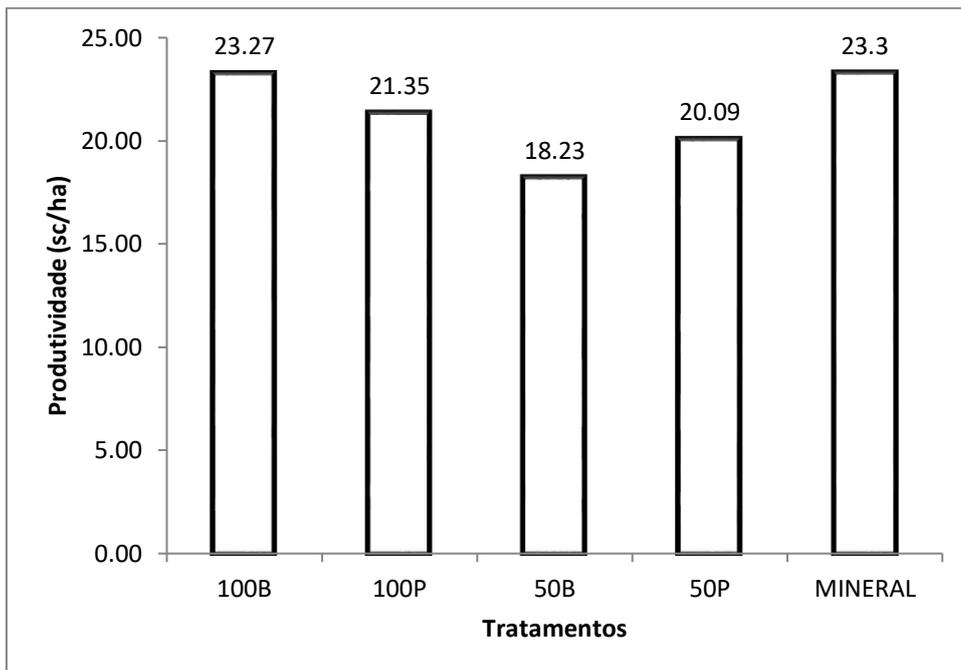


Figura 7 Produtividade do milho ao final do ciclo vegetativo (sc/ha), CV=30,31% .

A média entre os tratamentos foi de 21,24 sc/ha, cerca de 1274,52 kg/ha, bem abaixo da média brasileira no mesmo ano, que é 89,5 sc/ha (CONAB, 2020). Esse resultado justifica-se pela escassez hídrica, que ocorreu principalmente durante a fase de florescimento e polinização (mês de junho), estágio fenológico importante para o rendimento de grãos (WEISMANN, 2008).

Apesar dos efeitos adversos da escassez hídrica impedirem que se observasse com mais clareza os efeitos dos tratamentos impostos, todos foram afetados em igual intensidade. O fato de não ter havido diferença estatística significativa entre os tratamentos, considerando os valores absolutos, além de comparar os tratamentos 100B e mineral, pode ser considerado um ponto positivo para as situações em que houve substituição total do nitrogênio via biofertilizante para a cultura do milho safrinha.

Esse resultado pode ser explicado pela eficiente conversão do nitrogênio orgânico contido na água residuária da suinocultura em amônio, forma inorgânica do elemento que pode ser absorvido pelo sistema radicular da planta. Nesse sentido, Costa *et al.* (2016)

demonstraram que mais de 60% do nitrogênio total, encontrado em biofertilizante produzido com dejetos de bovinos de corte, apresentam-se na forma de amônio (N-NH_4^+). De forma similar, Tambone *et al.* (2010), ao estudarem as características de compostos orgânicos e biofertilizantes produzidos, concluíram que, quanto às propriedades fertilizantes, a digestão anaeróbia permitiu obter um produto final (biofertilizante), com propriedades fertilizantes muito boas devido ao alto teor de nutrientes (N, P, K) na forma disponível. Dessa maneira, continuam os autores, o biofertilizante parece ser um ótimo candidato para substituir os fertilizantes inorgânicos, também contribuindo para a renovação de curto prazo da matéria orgânica do solo.

Como efeito positivo da presença de nutrientes disponíveis para as plantas, a produtividade das culturas, que receberam o biofertilizante, compara-se àquela obtida com adubação mineral.

5.2 Diagnose foliar

A diagnose foliar é uma ferramenta que permite visualizar a capacidade da planta em absorver os nutrientes contidos nas diferentes adubações avaliadas.

A Tabela 14 apresenta os valores médios da concentração de nutrientes contidos na folha. Observa-se que não houve diferença estatística significativa ($p < 0.05$) para a maioria dos nutrientes avaliados. Na mesma Tabela, encontram-se os valores de referência segundo o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

Pode-se observar que, para alguns nutrientes (N, Cu e Fe), os teores encontrados na análise de diagnose foliar estão acima dos valores referenciais, enquanto para outros (P, K e Mg), encontram-se abaixo. Para os nutrientes Ca, Zn e Mn, os teores determinados encontram-se dentro da faixa de referência.

Os valores de N, determinados na folha do milho, reforçam a observação de que o uso do biofertilizante, visando substituir total ou parcialmente o elemento na adubação do milho safrinha, é uma alternativa viável quando comparado à adubação mineral. Ainda, nos nutrientes que foram encontrados em teores que excederam os valores referenciais, apresentam-se o Cu e o Fe. Ambos estavam presentes no biofertilizante, mas não na adubação mineral. Entretanto, como podem ser observados na Tabela 15, referente à análise do solo do experimento, os níveis de Cu foram considerados altos, o que explica o fato de o tratamento mineral, que não recebeu Cu, também apresentar teores mais altos do que os referenciais. Quanto ao Fe, a explicação também está no solo do experimento, um Latossolo Vermelho, cuja característica é a presença de óxidos de ferro e alumínio (EMBRAPA, 2018).

Tabela 14 Concentração média de nutrientes determinados na folha nos diferentes tratamentos.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
			g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			
100B	40,6	0,11	11,4	6,8	0,035	140,9	67,54	540,68 ^A	36,94
100P	38,6	0,08	12,1	5,8	0,029	68,61	54,43	313,03 ^{AB}	31,38
50B	42,0	0,09	8,40	8,5	0,041	69,34	54,73	217,66 ^B	26,44
50P	40,5	0,08	10,3	6,3	0,034	85,27	50,25	300,97 ^{AB}	29,31
MINERAL	37,8	0,09	9,80	8,5	0,037	172,0	71,24	326,55 ^{AB}	37,61
CV(%)	12,4	32,83	18,88	50,53	30,11	66,19	30,99	41,23	56,07
REFERÊNCIA*	27 – 35	1,9 – 4,0	17 – 35	2,3 – 8,0	1,5 – 5,0	6 – 20	15 – 100	30 – 250	20 - 200

* Fonte: Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

Com relação aos nutrientes que apresentaram teores abaixo dos valores de referência (P, K e Mg), também não se observam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, evidenciando que a substituição total ou parcial do N mineral pelo uso de biofertilizante não causou efeito aos demais nutrientes.

Os valores de P encontrados pela diagnose foliar foram aproximadamente 20 vezes menores que o valor mínimo de referência. A falta desse nutriente nos estádios fenológicos do milho implica uma produção de espigas pequenas e torcidas juntamente com sintomas de deficiências estruturais na planta jovem (BULL, 1993). Uma explicação para esse resultado, uma vez que a adubação utilizada foi coerente com a recomendação para a cultura, está em alguns fatores observados: a adubação total em cobertura não apresentou a mesma eficiência de uma adubação tradicional, a qual é realizada na linha de semeadura, junto à semente, afetando a disponibilidade de P e K para o sistema radicular da planta; os valores de Cu e Fe, os quais se apresentaram acima da faixa de referência. Ambrosini *et al.* (2016) explicam que o excesso de Cu e Fe causa deficiência na absorção de P, pois o estresse ocasionado pode danificar a estrutura das raízes e reduzir a absorção de água e nutrientes, incluindo P, o que acarreta um decréscimo ao crescimento e produtividade das plantas. Casarin (2016) apresenta que, com o pH do solo estando em 4,6, o grau de disponibilidade para absorção de ferro, cobre, manganês, zinco, cobalto e níquel é mais elevado que todos os nutrientes estudados.

Para o K, apesar do teor do elemento no solo ser alto ($0,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), os valores na folha, independentemente do tratamento, ficaram abaixo dos valores de referência, indicando, provavelmente, que as raízes não foram capazes de absorver o íon nas quantidades necessárias. A diagnose foliar foi realizada após um período de 20 dias de escassez hídrica na fase de pleno florescimento. Assim, o resultado observado pode ser justificado pela baixa umidade do solo, o que afeta a absorção dos nutrientes pela raiz, bem como pela lavagem do K, presente na folha pela chuva, ocorrida 22 dias antes da coleta (135 mm).

Os resultados de Mg observados na diagnose foliar revelaram-se bem abaixo do valor mínimo de referência. Ao observar os valores do elemento no solo (Tabela 11), nota-se que estava presente, à época da instalação do experimento, em altos teores. Assim, novamente, independentemente do tratamento imposto, houve baixa absorção do elemento pelo sistema radicular da planta. Considerando que a relação Ca:Mg é de 2,85:1 (Tabela 11), ou seja, próximo à considerada adequada por Malavolta (1986), 3:1, outros fatores devem ter influenciado a baixa absorção de Mg pelas raízes do milho. Dentre esses, o pH na faixa de 4,6 (Tabela 11), que interfere sobremaneira na absorção de nutrientes pelas plantas.

5.3 Análise de crescimento

A Tabela 15 apresenta os valores médios das características fisiológicas analisadas na última coleta (5° coleta), realizada no 100° dia, após emergência da planta. Observa-se que houve diferença estatística significativa ($p < 0.05$) para a maioria dos parâmetros avaliados.

Tabela 15 Parâmetros fitométricos referente à média de oito amostras de cada tratamento na coleta de 100 DAE.

TRAT	AF total (cm ²)	N° de folhas	MS folha (g)	MS caule (g)	MS espiga (g)	MS total (g)	MS espiga: MS total
Mineral	6424 ^A	14	44 ^A	86 ^{AB}	36	166,03 ^{AB}	0,22
100P	5709 ^{AB}	14	39 ^{AB}	76 ^{AB}	29	144,41 ^{AB}	0,20
50P	5150 ^B	14	34 ^B	67 ^B	22	122,42 ^B	0,18
100B	5874 ^{AB}	14	42 ^{AB}	97 ^A	36	175,28 ^A	0,21
50B	5006 ^B	14	35 ^{AB}	72 ^{AB}	23	130,4 ^{AB}	0,18
CV%	13,43	7,22	16,05	22,7	36,68	21,61	---

CV% = coeficiente de variação.

É possível perceber, pelos dados da Tabela 15, que, dentre os parâmetros fitométricos avaliados, não houve diferença estatística significativa ($p < 0.05$); o número de folhas (média de 14 folhas), massa seca de espiga (média de 29,24 gramas por espiga) e a relação massa seca de espiga: massa seca total (média de 0,20).

Com relação aos parâmetros fitométricos que apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos ($p < 0.05$), destacam-se os resultados obtidos na área foliar total. Nesse parâmetro, o tratamento mineral difere estatisticamente apenas dos tratamentos que receberam 50% da quantidade necessária de Nitrogênio via biofertilizante (50P e 50B). O biofertilizante, além dos macronutrientes, também tem, em sua composição, outros nutrientes secundários (Ca e Mg), vários nutrientes e outros componentes não determinados (Tabela 14), os quais podem auxiliar a produção de biomassa e realização da fotossíntese. Aplicando metade da dose de biofertilizante, comparado aos tratamentos que levaram 100% da quantidade necessária de N para o milho, via biofertilizante (100B e 100P), os tratamentos 50B e 50P não proporcionaram outros efeitos benéficos que o biofertilizante possui, além da carga nutricional para a planta, suficientemente para se igualarem ao tratamento mineral, principalmente o tratamento que recebeu biofertilizante diretamente na base (BELLINI *et al.*, 2011). Dentre os efeitos benéficos do biofertilizante, podemos citar concentrações de macro e micronutrientes mineralizados ou parcialmente disponíveis, ampla diversidade de micro-organismos benéficos, matéria orgânica, substâncias húmicas e boas condições sanitárias. Todos esses atributos contribuem para melhorias na fertilidade

do solo, pois surtem efeitos positivos sobre a qualidade física, química e biologia do sistema pedológico (NASCIMENTO, 2010; TEJADA *et al.*, 2014; TEJADA *et al.*, 2016).

Os demais parâmetros, que revelaram diferença estatística significativa entre os tratamentos, ou seja, massa seca de folha, de caule e total, apresentaram resultados favoráveis tanto à aplicação de adubo mineral exclusivamente, como quando o biofertilizante forneceu totalmente a quantidade de Nitrogênio necessária para a cultura.

Na Tabela 16, são apresentadas as taxas analisadas nas diferentes fases de crescimento da cultura do milho. Observa-se que não houve diferença estatística significativa ($p < 0.05$) para a maioria dos parâmetros avaliados.

Tabela 16 Valores médios para taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de crescimento relativo da área foliar (TCRAF), taxa assimilatória líquida (TAL) e razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), em quatro períodos de amostragem.

Tratamentos	DAE	TCA	TCR	TCR _{AF}	TAL	RAF	AFE
	(dias)	(g d ⁻¹)	(g g ⁻¹ d ⁻¹)	(dm ² dm ⁻² d ⁻¹)	(g m ⁻² d ⁻¹)	(m ² g ⁻¹)	(m ² g ⁻¹)
Mineral	20-40	1,26	0,10	0,08	8,54	1,64	0,02
	40-60	2,07	0,04	0,03	4,92	1,02	0,01
	60-80	0,26	0,00	0,00	0,59	0,80	0,01
	80-100	4,53 ^A	0,04 ^A	0,01	8,05	0,67	0,01
100P	20-40	1,05	0,09	0,07	7,37	1,68	0,02
	40-60	2,11	0,05	0,04	5,48	1,05	0,01
	60-80	1,84	0,02	0,00	3,27	0,83	0,01
	80-100	2,02 ^B	0,02 ^B	0,00	3,64	0,53	0,01
50P	20-40	1,30	0,10	0,07	8,05	1,63	0,02
	40-60	1,88	0,04	0,03	4,70	1,01	0,01
	60-80	0,72	0,01	0,00	1,30	0,81	0,01
	80-100	2,00 ^B	0,02 ^{AB}	0,00	4,16	0,63	0,01
100B	20-40	1,25	0,10	0,08	8,75	1,60	0,02
	40-60	1,40	0,03	0,02	4,07	1,01	0,01
	60-80	1,88	0,03	0,00	3,87	0,86	0,01
	80-100	4,05 ^{AB}	0,03 ^{AB}	0,01	7,37	0,56	0,01
50B	20-40	0,90	0,09	0,07	7,59	1,58	0,02
	40-60	1,92	0,05	0,04	5,61	1,07	0,01
	60-80	1,03	0,01	0,00	2,20	0,82	0,01
	80-100	2,50 ^{AB}	0,02 ^{AB}	0,01	5,32	0,56	0,01

A taxa de crescimento absoluto (TCA) representa a variação da matéria seca no

tempo (MS/DAE), ou seja, a velocidade média de crescimento ao longo do período de observação. Observa-se diferença estatística significativa ($p < 0.05$) apenas na última coleta, entre o tratamento Mineral e o tratamento 100P. Para facilitar a visualização do crescimento, confeccionou-se a Figura 8, contendo os dados da Massa Seca Total em cada coleta.

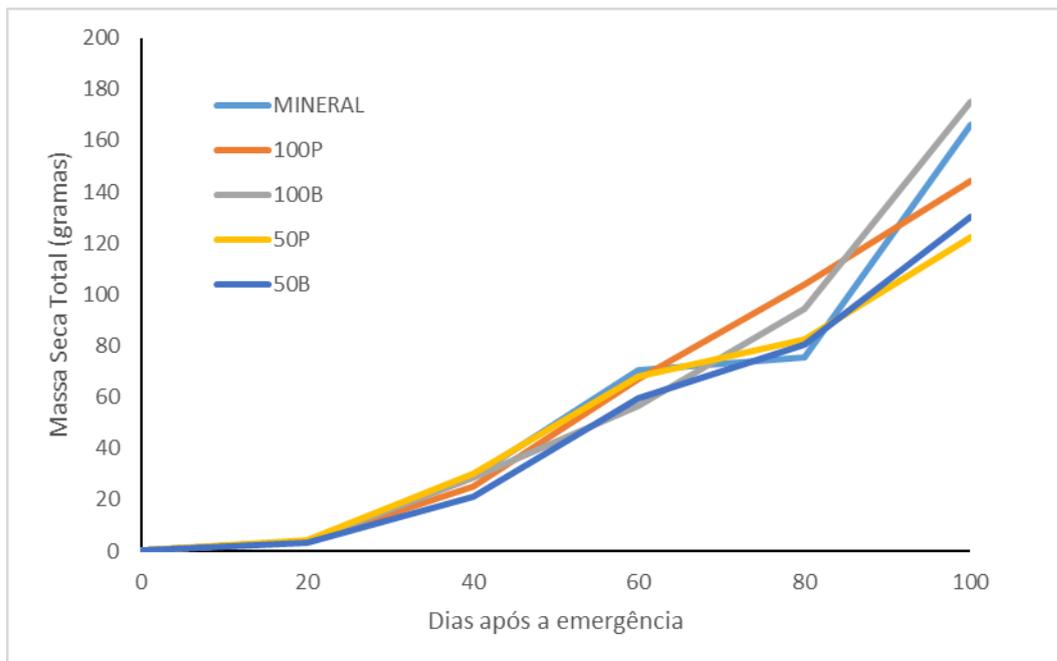


Figura 8 Aumento da massa seca total em função do desenvolvimento da cultura.

Observa-se que o comportamento do crescimento do milho em função do acúmulo de biomassa foi similar entre os tratamentos até os 60 DAE. Dos 60 aos 80 DAE, os tratamentos 100P e 100B apresentaram o maior acúmulo de biomassa ($1,84$ e $1,88 \text{ g dia}^{-1}$, respectivamente). Dos 80 aos 100 DAE, houve acúmulo de biomassa em todos os tratamentos, porém, destaca-se o comportamento dos tratamentos Mineral e 100B com os maiores valores ($4,53$ e $4,05 \text{ g dia}^{-1}$, respectivamente). Até o 80° DAE, foram registrados 477 mm de precipitação, distribuídos como apresentado na Figura 8. Nessa fase (80 DAE), a cultura encontrava-se em florescimento. Dos 80 aos 100 DAE, não houve precipitação. Portanto, o acúmulo de biomassa diferenciado nos tratamentos Mineral e 100B pode indicar que permitiram que a cultura continuasse a desenvolver seu potencial produtivo, provavelmente, em função de um sistema radicular mais robusto que permitiu à planta buscar água em camadas mais profundas do solo. Outra hipótese é a presença de alguns micronutrientes importantes, favorecendo o processo fotossintético. Nesse sentido, observa-se pela Figura 10 que o comportamento do Índice de Área Foliar (IAF) muito se assemelha ao resultado expresso na Figura 8.

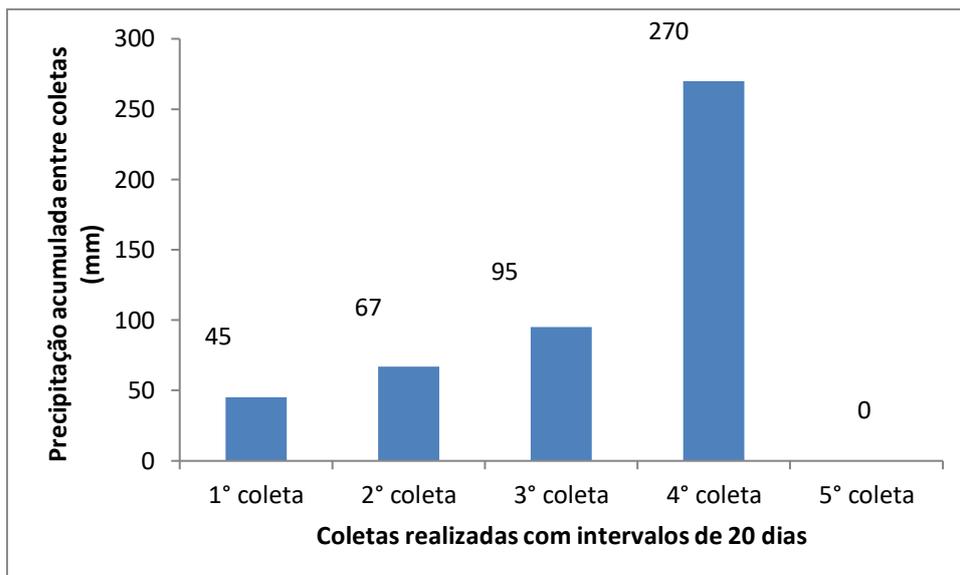


Figura 9 Precipitação acumulada entre coletas.

O Índice de Área Foliar (IAF) é calculado a partir da relação entre a soma da área das folhas da planta e a superfície de solo abaixo delas. Observa-se o aumento do IAF até atingir um máximo, quando é considerado ótimo. A partir desse ponto, inicia-se a fase de pendoamento do milho. Entre o estágio vegetativo V15 (décima quinta folha) e VT (pendoamento), o desenvolvimento da folha ocorre mais rápido com cada novo colar foliar (WEISMANN, 2008). As diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos foram observadas apenas na última coleta ($p < 0.05$), enfatizando o contraste entre o tratamento Mineral e os tratamentos em que a quantidade de nitrogênio, necessária para a cultura do milho, foi proveniente das duas fontes (mineral + biofertilizante).

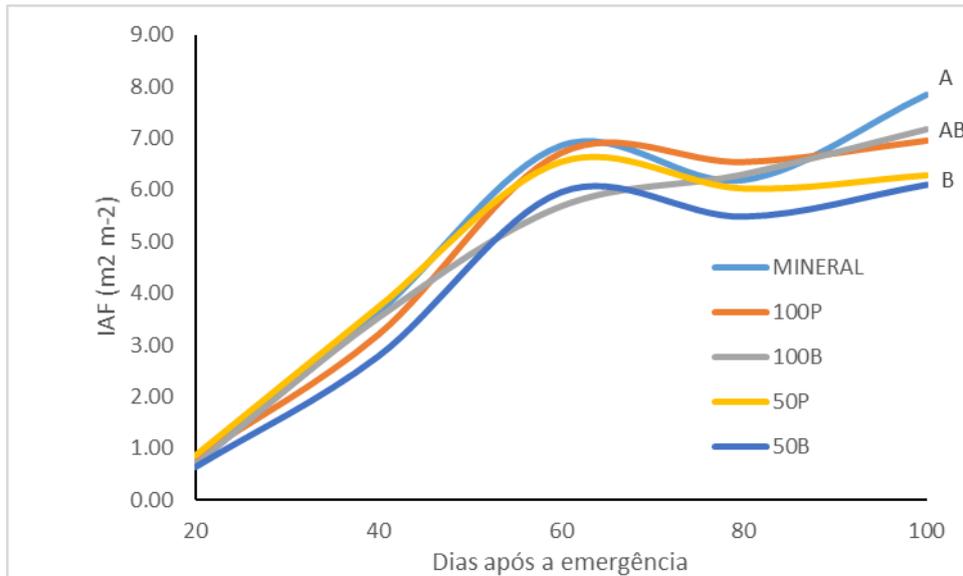


Figura 10 Índice de área foliar (IAF) de cinco tratamentos submetidos ao milho safrinha, em diferentes épocas de coleta. Plantas cultivadas em campo. Os pontos referem-se às médias amostrais de duas plantas/tratamento/coleta ($0,7402 < r^2 < 0,9144$).

Observa-se relação entre o IAF e a MST das plantas. Em função disso, calculou-se a equação de correlação entre as variáveis área foliar (AF) e a massa seca total (MST) (Tabela 17). Observa-se que, em todas as condições, o coeficiente de correlação mostrou-se muito alto, ou seja, à medida que aumenta uma variável, a outra segue o mesmo comportamento. Assim, o aumento da área foliar causa o aumento da massa seca total.

Tabela 17 Equações e coeficientes de correlações.

Tratamento	Equação de correlação	Coef. de correlação
Mineral	$y = -0.0035x^2 + 0.943x + 3.6523$	$R^2 = 0.9849$
100P	$y = -0.0044x^2 + 0.9918x + 3.8876$	$R^2 = 0.9715$
100B	$y = -0.0030x^2 + 0.8231x + 5.3175$	$R^2 = 0.9704$
50P	$y = -0.0056x^2 + 1.0759x + 2.8235$	$R^2 = 0.9808$
50B	$y = -0.0047x^2 + 0.9609x + 3.4542$	$R^2 = 0.9644$

As maiores AF dos tratamentos Mineral, 100B e 100P podem estar relacionadas com a presença de alguns micronutrientes que agem na fotossíntese. Dentre os micronutrientes que afetam diretamente o processo fotossintético, estão o Cu (SCHULTEN & KRÄMER, 2017), o Fe (GAO *et al.*, 2019), o Mn (FISCHER *et al.*, 2015) e o Zn (HAFEEZ *et al.*, 2013). Nesse sentido, quando se observam os resultados da diagnose foliar (Tabela 14), os tratamentos Mineral e 100B apresentam os maiores teores.

A diferença estatística significativa causada pelos tratamentos também foi

observada na Taxa de crescimento relativo (TCR). Nesse parâmetro, a diferença observada efetivou-se entre o tratamento Mineral e a condição 100P.

A TCR, que representa o aumento da massa seca de uma planta ou de qualquer um dos seus órgãos, em relação à massa seca existente no instante em que se inicia o período de observação, nem sempre detecta diferenças entre tratamentos (BENINCASA, 1988). Segundo Lima *et al.* (2007), a TCR varia ao longo do ciclo vegetal, pois depende de dois outros fatores do crescimento: da área foliar útil para a fotossíntese ou razão de área foliar (RAF), bem como da taxa assimilatória líquida (TAL), que é taxa fotossintética bruta, descontando a respiração. Portanto, a taxa de crescimento relativo poderá ser obtida utilizando-se a equação: $TCR = TAL \times RAF$. A Figura 11 foi elaborada considerando essa equação.

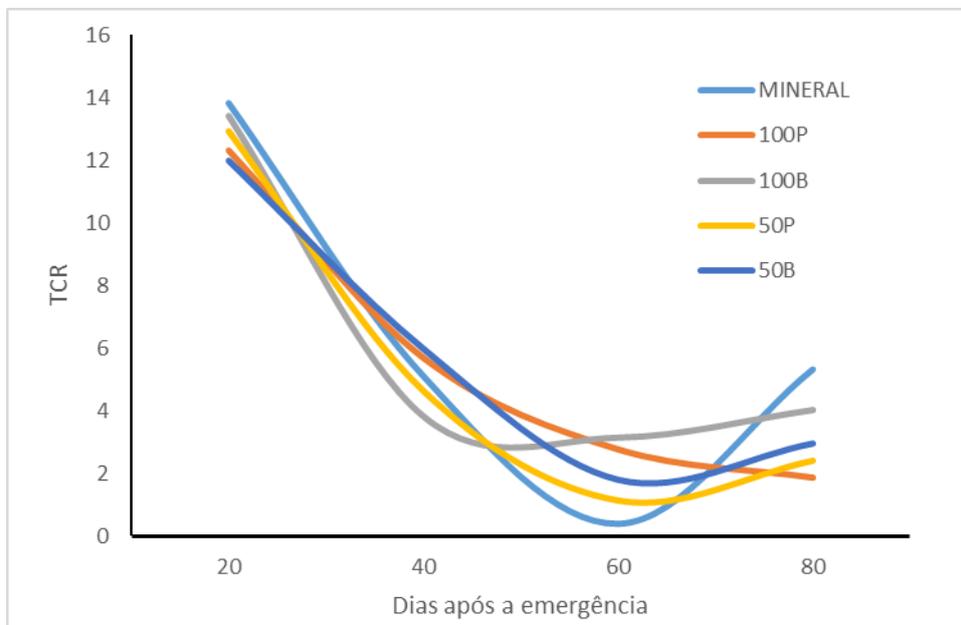


Figura 11 Taxa de crescimento relativo ($TCR = TAL \times RAF$) em função do tempo

O decréscimo da TCR deve-se ao aumento da massa de matéria seca da planta, ocasionada pelo acréscimo de componentes estruturais que não contribuem para o crescimento por não serem fotossinteticamente ativos (RODRIGUES, 1982) e, também, devido à elevação da atividade respiratória e autossombreamento, cuja importância aumenta com o avanço do ciclo fenológico da planta (URCHEI *et al.*, 2000).

Na última coleta, entretanto, observou-se, para a maioria dos tratamentos, uma tendência de elevação da TCR, exceto em 100P. Guissem *et al.* (2002) apresentam o mesmo comportamento após os 40 dias, aproximadamente, devido ao florescimento da planta. As tendências de aumento, encontradas neste trabalho, provavelmente, tiveram a influência de outros fatores fisiológicos não determinados. Paponov *et al.* (1999),

trabalhando com adição de N nas culturas de centeio, trigo e triticales, relacionou TCR com as taxas relativas de absorção de N, encontrando valores crescentes de TCR para todas as culturas.

6 CONCLUSÕES

O uso de biofertilizante, para substituir total ou parcialmente a necessidade de nitrogênio para o milho safrinha, é viável, pois não afeta a produtividade da cultura.

A produtividade da cultura, bem como seu status nutricional foram afetados pelas condições climáticas impostas durante o período experimental.

Os tratamentos que levaram 100% da quantidade necessária de N para o milho, via biofertilizante (100B e 100P), e o tratamento mineral tiveram melhores resultados no desenvolvimento fisiológico.

7 REFERÊNCIAS

- ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual de 2018**. Associação Brasileira de Proteína Animal, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais>. Acesso em: 25 jun. 2019.
- AMBROSINI, V. G.; ROSA, D. J.; BASSO, A.; BORGHEZAN, M.; PESCADOR, R.; MIOTTO, A.; MELO, G. W. B. de; SOARES, C. R. F. S.; COMIN, J. J.; BRUNETTO, G. Liming as an ameliorator of copper toxicity in black oat (*Avena strigosa* Schreb.). **Journal of Plant Nutrition.**, Philadelphia, v.40, n.3, p.404-416, 2016.
- ANDRADE, C. de L. T.; PEREIRA, P. E.; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M. **Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho**. Circular Técnica 85. Embrapa Sete Lagoas MG, 2006.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873-928
- ASAE. **Manure Production and Characteristics**. ASAE Agricultural sanitation and Waste Management Commitec, Standarts D384.1. 1993.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 1988.
- BELLINI, G.; FILHO, E. S.; MORESKI, H. M. Influência da aplicação de um fertilizante biológico sobre atributos físicos e químicos do solo. **VII EPCC**, out. 2011.
- BRIGGS, G.E.; KIDD, F.A.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. **Annals of Applied Biology**, London, v.7, p.202-223, Set., 1920.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. Tecnologia e Produção: Soja e Milho 2011/2012. Fundação MS, Maracaju -MS, p. 2-38, 2012.
- BOSCH-SERRA, A. D., YAGÜE, M. R.; TEIRA-ESMATGES, M.R. Ammonia emissions from different fertilizing strategies in Mediterranean rainfed winter cereals. **Atmospheric Environment.**, Espanha, v.84, p. 204-212, Fev., 2014.
- BÓCOLI, M. E. **Biofertilizante de dejetos de suínos na fertilidade do solo e na produtividade do milho**. Orientador: Prof. Dr. José Ricardo Mantovani. 2014. 46f. Dissertação – Sistemas de Produção na Agropecuária, Universidade José do Rosário Vellano, UNIFENAS, Alfenas, 2014.
- BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Nutrição mineral do milho. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993.
- CANTARELLA, H.;NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n. 1, p. 33-40, Jan., 2002.

CASARIN, V; Dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta visando BPUFs. Boas práticas para uso de fertilizantes. **IX Simpósio Regional** – IPNI Brasil, Paragominas - PA, 2016.

CATARINO, R.P.; GONZÁLEZ, A.P.N.; OLIVEIRA, L.R.P. Otimização da produção de metano na biodigestão da cama de frango. **I Simpósio Internacional sobre gerenciamento de resíduos de animais (SIGERA)**. Florianópolis – SC, 2009.

CAUSTON, D.R. ; VENUS, J. C. **The biometry of plant growth**. London: E. Arnold, 1981.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V.E.; ALVES, V.M.C.; HERNANI, L.C. Fertilidade de solos. *In*: Embrapa milho e sorgo. **Sistemas de Produção**. Sete Lagoas: Embrapa, p.2-10, 2008.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra Brasileira**. GRÃOS, 10º Levantamento safra 2020/2021, Brasília, 2021.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletins Grãos Junho 2019** – Completo. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletins Grãos Junho 2019** – Completo. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 25 jun. 2019.

CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A.; JÚNIOR, J. L.; JORDAN, R. A.; CASTRO, L. R. Biodigestão de efluentes. *In*: In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. (Coord.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. p. 493-529.

COSTA, M. S. de M.; LORIN, H. E. F.; COSTA, L. A. de M.; CESTANARO, T.; PEREIRA, D. C.; BERNARDI, F. H. Performance of four stabilization bioprocesses of beef cattle feedlot manure. **Journal of Environmental Management**, v. 181, p. 443-448, Out., 2016.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 1ª edição. Brasília, DF, 1999.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª edição. Brasília, DF, 2018.

ESTADOS UNIDOS. **Department of Agriculture**. USDA.gov - United States Department of Agriculture. Disponível em: <https://www.usda.gov/>. Acesso em: 26 jun. 2019.

FISCHER, W. W.; HEMP, J.; JOHNSON, J. E.. Manganese and the Evolution of Photosynthesis. **Orig Life Evol Biosph**, Pasadena, v. 45, n.3, p. 351-357, Set., 2015.

GASTARDELO, T. A. R.; MELZ, L. J. A suinocultura industrial no mundo e no Brasil. **UNEMAT de Contabilidade**., Mato Grosso-, v. 3, n. 6, p. 72-92, Dez., 2014.

GAO, F.; ROBE, K.; GAYMARD, F.; IZQUIERDO, E.; DUBOS, C.. The Transcriptional Control of Iron Homeostasis in Plants: A Tale of bHLH Transcription Factors?. **Frontiers in Plant Science**, v10., n.6, p.10-17, Jan., 2019.

GALVÃO, J. R.; MORAIS, F.I de O.; TOFOLI, R. de C.Z.. Massa seca e limitações nutricionais do milho, em um latossolo amarelo, sob floresta secundária e sistema agroflorestal. **Revista ciências agrárias**, Belém-PA, v.52, n. 1, p.137-145, Fev., 2009.

GONÇALVES, JUNIOR, A. C.; TRAUTMANN, R. R.; MARENGONI, N. et al. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em argissolo vermelho-amarelo eutrófico e latossolo vermelho eutrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v. 31, n.4, p. 1231-1236, Ago., 2007.

GONÇALVES, JUNIOR, A. C.; LINDINO, C. A.; ROSA, M. F.; BARICCATTI, R.; GOMES, G. D. Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante suíno utilizando macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 9-14, Mai., 2008.

GUIMARÃES, D. P.; SANS, L. M. A.; MORAES, A. V de C. Estimativa da Área Foliar de Cultivares de Milho. **XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Florianópolis – SC, 2002.

HAFEEZ, B.; KHANIF, Y. M.; SALEEM, M. Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review. **American Journal of Experimental Agriculture**, Malaysia, v. 3, n.2, p. 374-391, Mar., 2013.

HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: Edward Arnold, 1982.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná: Classificação climática**. 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-597.html>. Acesso em: 8 ago. 2019.

KRABBE, E. L., *et al.* **Cadeia produtiva de suínos e aves**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96729/1/final7180.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.

LIMA, J. F.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. da S. Índices fisiológicos e crescimento inicial de mamoeiro (*Carica papaya* L.) em casa de vegetação. **Ciênc. agrotec.**, Lavras-MG, v. 31, n. 5, p. 1358-1363, Out., 2007.

MACHADO, G.; SONEGATTI, O.; Consequências ambientais relacionados à Suinocultura no município de dois vizinhos (pr - brasil). **Caderno Prudentino de Geofragia**, Presidente Prudente-SP, v.1, n. 24, p. 132-160, Out., 2002.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento de vegetais. *In*: FERRI, M. G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. São Paulo-SP: EPU, 1985. p.333-350

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da Produção de Milho**. Circular técnica 76. Embrapa Sete Lagoas MG, 2006.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. [S.l.: s.n.] 1986., Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000761157>. Acesso em 6 de Out. 2021.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba-SP: POTAFOS, 1997.

MENEZES, J. F. S.; ALVARENGA, R. C.; ANDRADE, C. L. T.; KONZEN, E. A.; PIMENTA, F. F. Aproveitamento de resíduos orgânicos para a produção de grãos em sistema de plantio

direto e avaliação do impacto ambiental. **Revista Plantio Direto**, Caxias do Sul-RS, v. 9, n. 1, p. 30-35, 2003.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO; PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO – **Projeções de longo prazo Brasil 2020-21 a 2030-31**. Nota nº 15-2021/CGAPI/DCI/SPA/MAPA, 2021.

MOREIRA, E. D. S.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; CRUZ, L. R. Características agronômicas e produtividade de milho e milheto para silagem adubados com biofertilizante suíno sob irrigação. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa-SP, v. 72, n. 3, p. 185-192, Out., 2015.

NASCIMENTO, R. C. O uso do biofertilizante em solos agrícolas do cerrado da região do Alto Paranaíba (MG). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia-GO, v.30, n.2, p.55-66, Abr., 2010.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. FÓSFORO, IN: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. , Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo., 2007.

OLIVEIRA, E. L. de; PARRA, M. S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um latossolo vermelho-escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 65-70, Set., 1997.

OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27, 188 p., 1993.

PAPONOV, L. A.; LEBEDINSKAI, S.; KOSHKIN, E. I. Growth analysis of solution culture-grown winter rye, wheat and triticale at different relative rates of nitrogen supply. **Annals of Botany**, Oxford, v. 84, n.1, p. 467-473, Jul., 1999.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. O.; KUNZ, A. **Sistema de tratamento de dejetos de suínos: inventário tecnológico**. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, 2003.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de vegetais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1987.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: Their use and abuse. **Crop Science**, Kansas City, v.7, n.3, p.171-175, Mar., 1967.

RAO, M. S.; SINGH, S. P. Bioenergy conversion studies of organic fraction of MSW: kinetic studies and gas yield–organic loading relationships for process optimization. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 2, p. 173-185, Nov., 2004.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas e mensuração do crescimento**. Belém: CPATU, 1979.

RODRIGUES, S.D. **Análise de crescimento de plantas de soja (Glycine max L. Merrill) submetidas a carências nutricionais**. Orientador: José Antonio Proença Vieira de Moraes. 1982. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual Paulista, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1982.

SBCS/NEPAR - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO- **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba, 2017.

SCHULTEN, A.; KRÄMER, U. Interactions between copper homeostasis and metabolism in plants. **Progress in Botany**, v. 79, n.1, p. 111-146, Abr., 2017.

SEBRAE; ABCS. Serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas; associação brasileira dos criadores de suínos. **Mapa da suinocultura brasileira**. Brasília, 2016.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, M. R.; VIDIGAL, S. M.; SALGADO, L. T.; PEDROSA, M. W.; JACOB, L. L. Produtividade e estado nutricional do quiabeiro em função da densidade populacional e do biofertilizante suíno. **Bragantia**, Campinas-SP, v. 68, n.4, p.913-920, Mai., 2009.

SGANZERLA, E. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre. Agropecuária, 1983.

SIGURNJAK, I.; VANEECKHAUTE, H.; MICHELS, E.; RYCKAERT, B.; GHKIERE, G.; TACK, F. M. G.; MEERS, E. Fertilizer performance of liquid fraction of digestate as synthetic nitrogen substitute in silage maize cultivation for three consecutive years. **Science of the Total Environment**, v.599-600 p. 1885-1894, Dez., 2017.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília-DF, v. 5, n.3, p. 395-405, Dez., 2006.

TAMBONE, F.; SCAGLIA, B.; D'IMPORZANO, G.; SCHIEVANO, A.; ORZI, V.; SALATI, S.; ADANI, F. Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. **Chemosphere**, v. 81, n. 5, p. 577-583, Out., 2010.

TEIXEIRA, C. P.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa solos, 2017.

TEJADA, M.; RODRÍGUEZ-MORGADO, B.; GÓMEZ, I.; PARRADO, J. Degradation of chlorpyrifos using different biostimulants/biofertilizers: Effects on soil biochemical properties and microbial community. **Applied Soil Ecology**, v.84, n. 4, p. 158-165, Dez., 2014.

TEJADA, M.; RODRÍGUEZ-MORGADO, B.; GÓMEZ, I.; FRANCO-ANDREUA, L.; BENÍTEZC, C.; PARRADO, J. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. **European Journal of Agronomy**, v.78, p.13-19, Ago., 2016.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F.. Análise crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.497-506, Mar., 2000.

WEISMANN, M. **Fases de Desenvolvimento da Cultura do Milho**. Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno, 2008.

YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho? **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 91, p.1-5, Set., 2000.