



Influência de antibióticos no desenvolvimento de plantas em sistemas hidropônicos

Influence of antibiotics in the development of plants in hydroponic systems

José Arruda Bisserra Neto¹, Edécio José de Souza Filho², Luiza Feitosa Cordeiro de Souza¹

¹ Centro Universitário Tabosa de Almeida, Caruaru-PE, Brasil

² CGS Engenharia e Meio Ambiente, Recife-PE, Brasil

Contato: luizas@gmail.com

Palavras-Chave

feijão-caupi
contaminação
fármacos
hidropônia
toxicidade

Key-word

bean-caupi
contamination
drugs
hydroponics
toxicity

RESUMO

No Brasil o maior número de casos de contaminação alimentar é ocasionado por produtos químicos e biológicos, onde a contaminação química pode ser causada, por exemplo, por medicamento como os antibióticos. Os compostos com ação antibiótica podem causar alteração nos organismos envolvidos nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes presentes no solo ou na própria raiz das plantas. O feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma espécie amplamente consumida no Brasil e, por isso, foi selecionada para que a interferência dos antibióticos no desenvolvimento de plantas fosse avaliada com maiores detalhes. O cultivo foi em sistema hidropônico do tipo minifloating, contaminado com quatro tipos de antibióticos diferentes (amoxicilina, cefalexina, norfloxacino e sulfametoxazol) e em quintuplicata para cada um. A solução nutriente padrão foi preparada pela mistura de sulfato de amônio (0,034 g N.L⁻¹), cloreto de potássio (0,042 g K.L⁻¹), super fosfato (0,042 g P₂O₅.L⁻¹) e os antibióticos em 1,5 L de água. As sementes foram germinadas em água e, ao formar duas folhas foram transferidas para a solução. Foi montado um controle com a solução nutrientes e sem antibióticos. A amoxicilina provocou um aumento do comprimento da raiz, superior ao das plantas controle. Com este antibiótico as plantas desenvolveram folhas, tamanho de caule e área de folhas semelhante ao controle, enquanto a cefalexina, o norfloxacino e o sulfametoxazol atrofiaram a planta impedindo o seu desenvolvimento. Os antibióticos comprometeram o desenvolvimento do feijão-caupi causando atrofia por prejudicar a absorção de água e nutrientes. O único antibiótico a ter um desenvolvimento satisfatório da planta (amoxicilina) também causou modificações nas raízes para compensar a interferência da absorção de água e nutrientes. Desta forma, deve-se ter atenção com a presença de medicamentos do tipo antibióticos ao realizar práticas de reuso de efluentes ou biofertilizantes.

ABSTRACT

*In Brazil, the major of food contamination cases is caused by chemical and biological products. Drugs, as antibiotics and anti-inflammatories, are examples of chemical contaminants. Compounds that act as antibiotics can cause changes in organisms involved in biogeochemical cycles of nutrients present in the soil or in the roots of plants. Cowpea bean (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) is one species widely consumed in Brazil and, therefore, it was selected for antibiotics interference in plant development could be evaluated with detail. It was cultivated in a hydroponic system, minifloating type, contaminated with four different types of antibiotics (amoxicillin, cephalaxin, norfloxacin and sulfamethoxazole) and five repetitions for each one. The standard nutrient solution was prepared by mixing ammonium sulfate (0.034 g N.L⁻¹), potassium chloride (0.042 g K.L⁻¹), super phosphate (0.042 g P₂O₅.L⁻¹) and antibiotics in 1.5 L water. The seeds were germinated in water and, when forming two leaves, were transferred to the solution. It was fitted a control with solution nutrients and without antibiotics. Plant cultivated with amoxicillin had an increase in root length higher than control plants. With this antibiotic, the plants developed leaves, stem size and leaf area similar to control, while cephalaxin, norfloxacin and sulfamethoxazole atrophied the plant and prevented its development. Antibiotics compromised the development of cowpea causing atrophy by impairing the water and nutrients absorption. Amoxicilin was the only antibiotic to have a satisfactory development of the plant, but caused modifications in the roots to compensate the interference of the absorption of water and nutrients. Thus, attention should be paid to the presence of antibiotic-type drugs when performing effluent or biofertilizer reuse practices*

Informações do artigo

Recebido: 21 de agosto, 2021

Aceito: 05 de março, 2022

Publicado: 30 de abril, 2022

Introdução

De acordo com Blankenstein e Philippi Junior (2018), a produção de medicamento é superior a necessidade de consumo da população. É comum, que o consumidor, adquira maior quantidade do que precisa para o tratamento de uma determinada enfermidade. Desta forma, grande quantidade de medicamentos são descartados no meio ambiente de forma inadequada. Dentre os riscos apresentados pelo descarte incorreto destes medicamentos, destacam-se: a contaminação dos recursos hídricos e solo, a proliferação de doenças, a diminuição da qualidade de vida da população, além de fatores que condicionam a mortalidade de animais e plantas (BORRELY et al., 2012).

Por sua grande comercialização e descarte inadequado, alguns compostos farmacêuticos ativos vêm sendo detectados nos mais diversos ambientes. Através de análises ecotoxicológicas, é possível dimensionar o potencial tóxico desse tipo de resíduo na biota existente.

Medicamentos têm sido detectados em corpos hídricos, efluentes tratados, e até em tecidos biológicos de alguns organismos (BORRELY et al., 2012). Mandaric et al. (2019) relataram elevadas concentrações de compostos farmacêuticos ativos em trechos de rios próximos dos pontos de lançamento de efluentes tratados na Grécia. Jie Ding et al. (2019) relataram ter identificado cerca de 166 diferentes compostos farmacêuticos ativos nos rios da China. No Brasil, a situação é semelhante. Em diversos corpos hídricos brasileiros, foram detectados a presença destes compostos farmacêuticos ativos. Veras et al. (2019) encontraram elevadas concentrações de paracetamol e diclofenaco, dois anti-inflamatórios, no Rio Beberibe em Pernambuco. Santos et al. (2020) monitoraram 4 corpos hídricos brasileiros na região central do Brasil e quantificou 28 diferentes tipos de fármacos. Dentre os fármacos estudados, foram encontrados antialérgico (loratadina), redutor de colesterol (atorvastatina), antibióticos (norfloxacino, fluconazol), estimulante (cafeína), antiulceroso (ranitidina) e anti-inflamatórios (betametasone, prednisone). Um estudo, realizado no Rio Grande do Sul, identificou alguns anti-inflamatórios como paracetamol, diclofenaco e ibuprofeno em um lago durante um monitoramento de 6 meses (PERIN et al., 2021).

O descarte inadequado de medicamentos pode provocar alteração da microbiota nos corpos hídricos e no solo. No trabalho de Gallego et al. (2021), foi observado uma redução significativa na diversidade bacteriana quando o solo foi exposto ao valsartan, um anti-hipertensivo. Este fármaco foi citado no artigo de Mandaric et al. (2019) como um dos mais encontrados no corpo hídrico na Grécia. Frková et al. (2020) verificaram que, em um período curto (13 dias) de exposição do solo aos fármacos, foi possível observar o desequilíbrio entre as espécies microbianas no solo.

Foi observado um estímulo no crescimento de fungos e bactérias gram negativas quando o solo foi exposto a sulfametoxazol (antibiótico) e efeitos inibitórios de crescimento quando expostos a citalopram (antidepressivo) e irbersartan (anti-hipertensivo).

Melloni et al. (2018) avaliaram as atividades específicas e não específicas de microrganismos do solo para verificar a qualidade do mesmo em sistemas agroflorestais. Os microrganismos do solo são os responsáveis em regular o metabolismo das plantas, imobilizar nutrientes e produzir certos metabólitos que auxiliam no crescimento da planta e na proteção contra doenças (FUKE et al., 2021).

De acordo com Araújo Júnior et al. (2019), a água é absorvida por osmose pelas plantas. Para isso, as células das raízes precisam ter força de sucção superior às forças de retenção da água no solo. O líquido dentro das células das raízes deve ser hipertônico em relação ao solo. Araújo Júnior et al. (2019) relataram a interferência do estresse hídrico (escassez ou excesso de água no solo) na absorção de água e de nutrientes pelas raízes das plantas. Os solos com excesso de sais (solos salinos) e/ou com carência de água pode deslocar o sentido do fluxo de água, promovendo a perda de água pela planta e prejudicando a absorção de nutrientes (CRUZ et al., 2018). Estes nutrientes precisam estar na forma de íons para serem absorvidos no sistema radicular das plantas, sendo a difusão ou transporte ativo os principais mecanismos. O processo de absorção de nutrientes pode ser prejudicado ainda pela elevada umidade do ar, sistema radicular pouco desenvolvido, compactação do solo, baixa umidade do solo, pH inadequado e baixa aeração (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

O solo é o meio mais utilizado em sistemas agrícolas tradicionais e, para isso, precisa de preparos específicos e correções químicas para evitar a compactação, salinização, acidez ou alcalinidade do solo e a escassez de nutrientes. Stefanoski et al. (2013) relataram inúmeros indicadores para a avaliação da qualidade física do solo como a densidade, resistência a penetração, agregação, textura, porosidade, condutividade, dentre outros. Estas características físicas estão diretamente proporcionais as concentrações dos elementos químicos presentes no solo. No entanto, o solo não é o único local onde pode ser realizado o plantio de culturas.

O uso de soluções nutritivas tem sido bastante utilizado para promover o crescimento e desenvolvimento de plantas, bem como obter produções satisfatórias, sem o uso de solo, apenas como um suporte. No trabalho de Lei e Engeseth (2021), foi comparado o desenvolvimento de alface cultivada em solo e em sistema hidropônico. Eles observaram que as raízes da cultura de alface tiveram um desenvolvimento melhor em sistema hidropônico do que no solo, a quantidade de compostos antioxidantes foi menor nas folhas e houve um aumento na acumulação de lignina na cultura hidropônica.

O sistema hidropônico consiste em cultivar espécies de plantas em uma solução nutritiva sem o uso do solo. Diferentes tipos de espécies podem utilizar este sistema como hortaliças, frutos e flores. Dentre as espécies mais utilizadas neste tipo de cultivo destacam-se a alface e o tomate, mas também podem ser encontradas culturas de abobrinha, pimentão, pepino, morango, melão e plantas ornamentais como crisântemos, rosas e gladiolos. A solução nutriente é preparada com mistura de sais minerais e aeração da água (MACEDO et al., 2013).

O cultivo hidropônico requer alguns cuidados especiais. Há necessidade de grandes volumes de solução e do ajuste frequente das concentrações dos nutrientes e do pH do meio (o pH influencia na disponibilidade dos nutrientes) (PETRAZZINI et al., 2014). O suprimento de oxigênio é necessário para permitir a respiração das raízes. Segundo Miranda et al. (2010) a ausência de aeração das raízes comprometeu o desenvolvimento foliar de plântulas de feijão-de-corda. Eles observaram que o cultivo sem aeração provocou alteração na morfologia das raízes e da parte aérea da planta. Em muitos cultivos hidropônicos comerciais, as raízes das plantas são colocadas em valas (canos de PVC cortados ao meio) e a solução nutritiva flui em uma fina camada ao longo da vala, alimentando as raízes. Este sistema garante um amplo suprimento de oxigênio às plantas.

Dentre os tipos de sistemas hidropônicos, existe um chamado *minifloating*, onde a hidroponia é feita em vasos, de modo fácil e rápido. Os vasos podem ser de qualquer material incluindo recipientes plásticos como potes de sorvete, além de ser uma forma de preservar o meio ambiente impedindo que esses vasos e outras embalagens sejam jogadas de qualquer forma. Esse tipo de sistema permite que se controle individualmente o cultivo de cada planta (MACEDO et al. 2013; PETRAZZINI et al., 2014; LEAL et al., 2020; LEI e ENGESETH, 2021)

Segundo Macedo et al. (2013), o feijoeiro necessita de muitos nutrientes e o uso da técnica de hidroponia é uma alternativa viável para seu cultivo, pois é realizado em sistema controlado e os nutrientes são dosados de forma a suprir tais necessidades. O plantio de feijão é estendido a todos os estados brasileiros, no sistema solteiro ou consorciado com outras culturas. Considerada uma cultura de subsistência em pequenas propriedades, o feijoeiro é adotado também em sistemas de produção que requerem o uso de tecnologias intensivas como a irrigação, controle fitossanitário e colheita mecanizada.

O sertão semiárido da região Nordeste e pequenas áreas da Amazônia são as principais regiões onde o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é plantado. A produção anual de feijão-caupi no Brasil, em 2017, foi de 647.143 toneladas colhidas em cerca de 1,39 milhões de hectares. A produtividade neste período foi de 466 Kg.ha⁻¹ (ROCHA et al., 2019).

Com isso, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência no crescimento do caule, quantidade e tamanho das folhas e tamanho da raiz de quatro antibióticos mais comumente utilizados no desenvolvimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) em sistema hidropônico.

Material e Métodos

Para testar a influência dos antibióticos no desenvolvimento das plantas, foi montado um sistema hidropônico do tipo *minifloating* com uma espécie de leguminosa, em cinco tratamentos (Tabela 1), sendo um deles o controle. O experimento foi realizado em quintuplicata para cada tratamento. Foram testadas a influência de quatro antibióticos: amoxicilina; norfloxacino; cefalexina e sulfametoxazol. As concentrações de cada antibiótico na solução foram semelhantes entre eles e resultante da dissolução de um

comprimido em cada vaso (Tabela 1). A seleção dos comprimidos foi por acessibilidade, isto é, foram utilizados os medicamentos normalmente comercializados com concentrações semelhantes entre si. Não foi realizado compra em farmácias de manipulação, na qual se escolhe a composição e os valores das concentrações dos princípios ativos. Foi utilizada uma muda de leguminosa e um antibiótico diferente em cada tratamento, com exceção do tratamento controle que não houve adição de antibióticos.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos

Tratamento	Antibiótico	Concentração no vaso
T1	Sem antibiótico	0 mg/L
T2	Amoxicilina	384 mg/L
T3	Norfloxacino	308 mg/L
T4	Cefalexina	384 mg/L
T5	Sulfametoxazol	308 mg/L

Fonte: O autor (2021)

Sistema hidropônico

No sistema hidropônico, utilizou-se vasos de polipropileno com capacidade de 2 L, preenchidos com 1,5 L de solução nutrientes. A solução nutrientes foi composta de uma mistura de sulfato de amônio (0,034 g N-NH₄.L⁻¹), cloreto de potássio (0,042 g K.L⁻¹), super fosfato (0,042 g P₂O₅.L⁻¹). A composição e concentração da solução nutrientes foi preparada com base nos valores da Ficha Técnica da EMBRAPA (2014) para feijoeiros comuns no Nordeste.

Com a finalidade de refletir a luz solar e evitar o aquecimento e desenvolvimento de algas, os vasos foram cobertos com papel alumínio. Na tampa dos vasos, foi realizado uma abertura central, suficiente para encaixar um copo descartável de 50 mL, e uma abertura menor para a passagem de uma mangueira. O copo tinha perfurações no fundo para permitir que as raízes da planta tivesse contato com a solução nutriente e também servia de sustentação para a mesma. Enquanto a muda era pequena, a solução entrava no copo através das perfurações. Com o crescimento da planta, as raízes também cresciam e passavam pelas perfurações para dentro da solução nutrientes.

Na extremidade da mangueira que ficava imersa na solução nutrientes, foi conectada uma pedra porosa de 5cm. Através da mangueira, era possível adicionar ar à solução nutrientes e a pedra porosa reduzia o tamanho das bolhas para aumentar a troca gasosa. O processo de aeração é uma etapa importante para o sistema hidropônico pois auxilia na oxidação dos nutrientes, favorece a absorção dos mesmos pelas plantas e evita o crescimento de microrganismos anaeróbios que podem causar patologias na planta (MIRANDA et al., 2010). Os vasos foram aerados por cerca de 60 minutos diariamente com o auxílio de um compressor (SCHULZ, PROCSV10/100). O deslocamento teórico do equipamento utilizado era de 17 m³/h. Sendo assim, de acordo com dados do fabricante do equipamento e tendo em vista que foram utilizados 25 vasos, a quantidade de ar introduzido em cada vaso foi de aproximadamente 0,68 m³/dia. Esta quantidade promovia uma adição de 117g O₂/L em cada vaso, sendo considerado suficiente para nutrir a planta por 24 horas.

O experimento transcorreu em uma casa de vegetação durante todo o experimento, onde foram monitorados. O experimento foi realizado na cidade de Caruaru, região agreste do estado de Pernambuco, durante o primeiro semestre. Neste período, as temperaturas máximas e mínimas na região variaram entre 26 e 29 °C e 19 e 20 °C, respectivamente, com precipitação média semestral de 59±5 mm e Umidade relativa do ar de 76±4 % (<https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/pernambuco/caruaru-34674/>).

Figura 1. Sistema hidropônico *Minifloating* utilizado no experimento



Fonte: O autor (2021)

Leguminosa

A leguminosa escolhida foi o feijão-caupi, conhecido como feijão macassar (*Vigna unguiculata*). As sementes foram adquiridas em uma sementeira e germinadas em uma camada de algodão úmido (água potável). Ao atingir uma quantidade de 2 folhas, elas foram transferidas para os vasos. Uma muda foi colocada em cada vaso. Na Figura 2 pode-se observar a acomodação da muda em um pequeno copo com perfurações para permitir o contato das raízes com a solução nutritiva.

Figura 2. Muda de feijão-caupi transferida para os vasos de hidroponia, contendo uma solução nutritiva e adição de antibiótico



Fonte: O autor (2021)

Monitoramento

Diariamente, o volume da solução nos vasos era verificado. Foram adicionados inicialmente 1,5 L em cada vaso e realizada uma marcação da altura dentro do vaso. O consumo da solução nutritive pela planta e/ou a evaporação poderiam reduzir este volume. Se fosse necessário, a solução nutritive era repostada com as mesmas características e concentrações da solução inicial. Semanalmente, eram realizadas as medições de tamanho de raiz e de caule com um escalímetro, contagem do número de folhas e medição da largura e comprimento das mesmas. A área da folha foi calculada pela multiplicação da largura e comprimento. As medições foram realizadas diariamente até que as plantas morressem. Neste trabalho, o experimento teve duração de 65 dias.

Tempo de meia vida

O experimento foi conduzido até que as plantas morressem, isto é, apresentassem uma coloração amarelada e murchassem. Com isso, foi possível determinar o tempo de meia vida das plantas, isto é, o tempo que 50 % das unidades permaneciam vivas em contato com os antibióticos.

Análise de dados

Com os dados foram realizados os testes t, com grau de confiança de 95 %, para verificar as diferenças significativas entre as réplicas, entre os antibióticos e entre os antibióticos e o controle. O teste de Tukey, as tabelas e gráficos foram feitos com o auxílio do software Statistica®. Na confecção dos boxplots foram utilizados os valores das cinco réplicas e no software Statistica®.

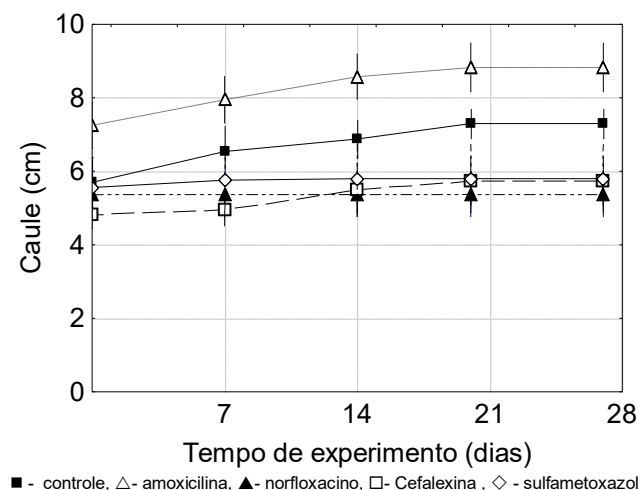
Resultados e Discussões

Neste experimento hidropônico, foram avaliados a influência dos antibióticos no desenvolvimento das partes da planta. A discussão dos resultados será realizada, inicialmente, avaliando a influência dos antibióticos no desenvolvimento de cada parte da planta e, posteriormente, será realizada uma avaliação do desenvolvimento global da planta.

Caule

A altura média das mudas quando foram colocadas no sistema de hidroponia com a solução nutritiva e o antibiótico foi de 6 ± 2 cm. Na Figura 3, pode-se observar o tamanho do caule e o crescimento do mesmo semanalmente após ser colocado no sistema hidropônico.

Figura 3. Crescimento do caule dos feijoeiros em todos os tratamentos ao longo do experimento.



■ - controle, △- amoxicilina, ▲- norfloxacino, □- Cefalexina, ◇ - sulfametoxazol

Fonte: O autor (2021).

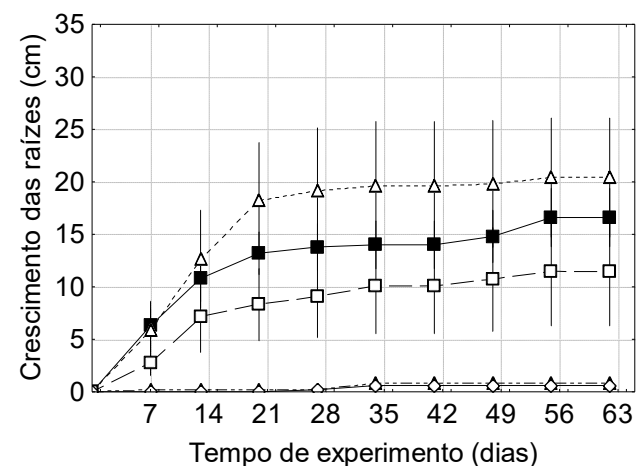
De acordo com a Figura 1, os maiores caules foram observados nos tratamentos com amoxicilina e no controle. Ao final do experimento, as plantas com amoxicilina tiveram caule com 7 ± 2 cm e no controle $7,3 \pm 0,9$ cm, estatisticamente iguais como verificado no teste t ($p = 0,077$). A taxa de crescimento para estes tratamentos foi de $0,08$ cm/dia. O comprimento do caule, nos tratamentos com os demais antibióticos, foi inferior aos citados acima. As plantas atingiram alturas de 5 ± 1 , 6 ± 1 e 6 ± 2 cm quando em contato com o norfloxacino, cefalexina e o sulfametaxazol, respectivamente. Segundo o teste t, nestes tratamentos, os caules foram estatisticamente iguais. Comparando os valores entre os tratamentos com norfloxacino e cefalexina o “p” foi de $0,699$, entre norfloxacino e o sulfametaxazol foi de $0,716$ e entre sulfametoxazol e cefalexina foi de $0,959$. No entanto, foi observado que a taxa de crescimento com a cefalexina foi maior do que com os outros dois antibióticos. Para a cefalexina a taxa foi de $0,05$ cm/dia e para os antibióticos norfloxacino e sulfametoxazol foi de $0,01$ cm/dia para ambos. Isto ocorreu devido as plantas no tratamento com a cefalexina terem um comprimento médio inicial inferior aos dos tratamentos com norfloxacino e sulfametoxazol.

Segundo Rodrigues e Kerbaui (2009), o período de crescimento do feijoeiro demanda de água. A escassez neste período pode prejudicar seu crescimento. Os antibióticos cefalexina, norfloxacino e sulfametoxazol podem ter prejudicado a absorção através das raízes, comprometendo o crescimento do caule.

Raíz

A avaliação do desenvolvimento das raízes é importante, devido a ser a parte responsável pela assimilação de água e minerais presentes no solo ou na solução nutrientes. O crescimento das raízes ao longo do experimento pode ser observado na Figura 4.

Figura 4. Crescimento das raízes dos feijoeiros em todos os tratamentos ao longo do experimento.



■ - controle, △- amoxicilina, ▲- norfloxacino, □- Cefalexina, ◇ - sulfametoxazol

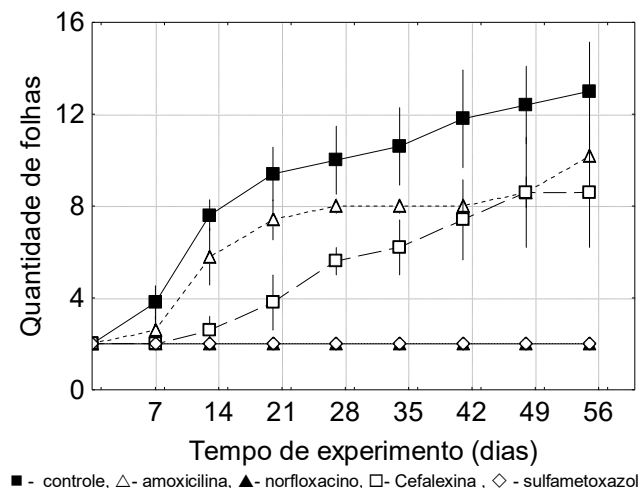
Fonte: O autor (2021).

Na Figura 4, as plantas cultivadas com amoxicilina, com cefalexina e sem adição de antibióticos (controle) tiveram os maiores desenvolvimento das raízes, 20 ± 13 , 12 ± 12 e 17 ± 6 cm, respectivamente, e não houve diferença significativa entre eles. No tratamento com sulfametoxazol e norfloxacino, houve a inibição do crescimento das raízes de 96 e 94 %, respectivamente. Esta inibição pode ter sido a causa da redução do tamanho do caule ocorrida nestes tratamentos, pois a redução de absorção de água e nutrientes promove uma redução nos processos fisiológicos de crescimento da planta (RODRIGUES e KERBAUY, 2009). Apesar da raiz bem desenvolvida, o feijoeiro cultivado com cefalexina teve a formação de caule inferior ao controle. Segundo Abrantes et al. (2011), além da absorção de água e nutrientes existem outro sistema que auxilia no crescimento da planta, os hormônios de regulação. O crescimento do caule ocorre quanto o meristema apical (tecido vegetal) está ativo. A atividade deste tecido é regulada pelos hormônios produzidos pela própria planta. A cefalexina pode ter inibido estes hormônios promovendo um déficit no crescimento no caule.

Número de folhas

Analisando a Figura 5, percebe-se que o tratamento controle desenvolveu em média 13 ± 5 folhas em 55 dias. Nos tratamentos com amoxicilina e cefalexina, no mesmo período, tiveram valores médios de folhas de 10 ± 3 e 9 ± 5 unidades, respectivamente. Para os tratamentos citados, não houve diferença significativa. Os feijoeiros mais prejudicados foram os cultivados com sulfametoxazol e norfloxacino, pois não houve a produção de folhas. As mudas foram colocadas no sistema hidropônico com 2 folhas cada e, nestes tratamentos, não houve o desenvolvimento de novas folhas. O comprometimento da raiz nestes dois tratamentos, além de afetar o desenvolvimento do caule interferiu também na formação das folhas.

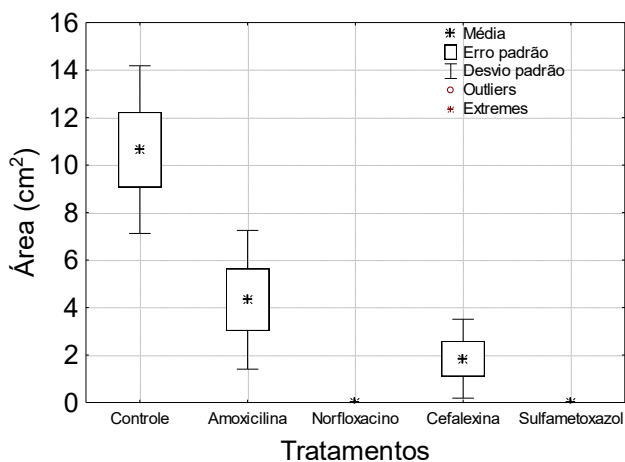
Figura 5. Número de folhas formadas nos feijoeiros ao longo do experimento.



Fonte: O autor (2021)

Além do número de folhas, foram medidas a largura e o comprimento das mesmas e calculada a área. Na Figura 6 é mostrado o valor médio da área das folhas formadas no feijoeiro de cada tratamento.

Figura 6. Valores médios, desvio padrão e erro padrão das áreas das folhas dos feijoeiros de cada tratamento.



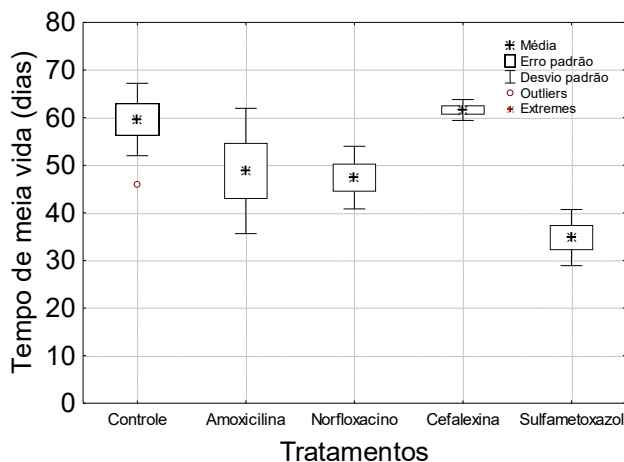
Fonte: O autor (2021)

As plantas cultivadas em solução controle apresentaram maior área em suas folhas em relação aos outros tratamentos, em média $11 \pm 4 \text{ cm}^2$. As plantas cultivadas com norfloxacino e sulfametoxazol apresentaram deficiência neste quesito. Foram medidas as folhas que se desenvolviam durante o cultivo, ignorando as folhas iniciais. Logo, para estes dois antibióticos, não houve desenvolvimento de novas folhas e as que já existiam murcharam. As plantas com cefalexina apresentaram folhas com pequenas áreas ($2 \pm 2 \text{ cm}^2$) assim como as plantas com amoxicilina ($4 \pm 3 \text{ cm}^2$).

Tempo de meia vida

O tempo de meia vida é uma forma de determinar o período que 50% de mudas poderia ser expostas a certos compostos e não morrer. A perda de 50% de um plantio é significativa para produtores rurais.

Figura 7. Tempo de vida médio dos feijoeiros em cada tratamento.



Fonte: O autor (2021)

Se ocorre um acidente, no qual a muda seja exposta a antibióticos, com este valor de meia vida é possível saber o tempo que ela pode ser exposta sem comprometer todo o trabalho. Na Figura 7, é possível observar o tempo de meia vida das mudas de feijão-caupi para os antibióticos nas concentrações testadas. Observa-se que as plantas com solução controle apresentaram um maior tempo de meia vida (60 ± 8 dias) em comparação com os outros tratamentos. As plantas expostas ao sulfametoxazol apresentaram um baixo tempo de meia vida (35 ± 6 dias). No tratamento com cefalexina, o tempo de meia vida foi de 62 ± 2 dias, semelhante ao controle, enquanto os tratamentos com norfloxacino e amoxicilina apresentaram tempos de meia vida intermediário, 47 ± 7 dias e 49 ± 13 dias, respectivamente.

Avaliação global da influência dos antibióticos

Neste trabalho, foi observado que nos tratamentos onde as raízes atrofiaram (pequeno desenvolvimento), não houve bom desenvolvimento da planta. Isto é, em alguns tratamentos houve a formação de folhas pequenas, em outros não foram formadas novas folhas e houve tratamentos com pequeno crescimento do caule. Segundo Matsumura e Oliveira (2012), a função das raízes, além de dar sustentação, é de absorver água e nutrientes do solo. Ela possibilita o transporte e distribuição de ambos para todas as partes da planta. Com a disponibilidade destes nutrientes, as plantas são capazes de realizar diversas reações que resultam no crescimento da planta. Corroborando com a afirmativa acima, neste estudo, as plantas que não tiveram bom desenvolvimento de folhas e caule, tiveram atrofia de suas raízes.

Nos tratamentos com sulfametoxazol e norfloxacino, as raízes cresceram apenas 4 e 6 %, respectivamente, em relação ao crescimento no tratamento controle. Nestes tratamentos, não houve formação de folhas nem crescimento do caule. Os comprimidos de ambos medicamentos possuem em sua composição, excipientes com sódio em maior quantidade que nos demais. O sódio é um elemento que contribui com o aumento da salinidade e, em ambientes salinos, as raízes absorvem menor quantidade de água e nutrientes (CRUZ et al., 2018). Neste tipo de ambiente, as plantas costumam atrofiar suas raízes para reduzir a área superficial, isto é, a

zona pilífera. Esta parte da raiz é a responsável em absorver a água e os nutrientes. Em ambientes com elevadas concentrações de sais, as raízes podem perder água para o solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009; STEFANOSKI et al. 2013; MACEDO et al., 2013). A concentração no meio externo estava mais elevada que no meio interno das raízes, alterando o fluxo de água, ao invés de entrar água nas raízes, saía água para ao meio externo.

No tratamento com amoxicilina, as raízes cresceram mais do que no controle, mas o número de folhas foi semelhante nos dois tratamentos. No entanto, a área das folhas, no tratamento com amoxicilina, foi 74 % inferior. Neste caso, provavelmente, as raízes tiveram dificuldades para realizar o processo de absorção. Dois fatores podem ter contribuído: i) a concentração de sais e outros compostos dissolvidos na solução nutriente podem ter alterado sua osmolaridade ou reduzido a capacidade de assimilação de nutrientes e ii) o composto da amoxicilina pode ter inibido a absorção de nutrientes, ocasionando um maior crescimento das raízes, pela necessidade de compensar a dificuldade. A salinidade da solução nutrientes com a amoxicilina era inferior a encontrada nos tratamentos com os demais medicamentos, devido a presença de poucos compostos salinos, mas foi mais elevada que no controle. No tratamento com amoxicilina, a quantidade de nutrientes assimilados pelas raízes não foi suficiente para o desenvolvimento de folhas grandes.

No tratamento com a cefalexina, as plantas tiveram um tempo de meia-vida semelhante aos tratamentos de melhor desempenho, controle e com amoxicilina. O tamanho das raízes foi 31 % inferior ao controle, mas a quantidade de folhas foi semelhante ao da amoxicilina. Contudo, suas folhas foram significativamente inferiores, 82 % em relação ao controle. No tratamento com a cefalexina, também observou-se uma atrofia do caule, com taxa de crescimento insignificantes, inferior a 0,03 cm/dia. A composição dos comprimidos, e consequentemente a salinidade de cefalexina e amoxicilina são semelhantes, mas o desenvolvimento com o primeiro foi inferior. A cefalexina é altamente solúvel em água e confere um pH básico, entre 8 e 10. Nesses valores de pH, a absorção de nutrientes pela raiz é comprometida. Portanto, o desenvolvimento da planta com este antibiótico foi mais prejudicado do que com a amoxicilina, que confere a água um pH levemente ácido (3,5 - 5,5) e é pouco solúvel em água. Os valores tóxicos de pH são inferiores a 3,5 ou superiores a 8. Com a amoxicilina, os valores de pH ainda estavam em níveis aceitáveis.

Conclusão

O feijão-caupi sofreu interferência em seu desenvolvimento após ser cultivado na presença de compostos antibióticos.

A amoxicilina provocou um aumento no desenvolvimento da raiz da planta para compensar o efeito tóxico da salinidade causada pela solução. Ocorreu uma deficiência na quantidade e tamanho das folhas, fazendo com que o crescimento do caule e o tempo de meia-vida não fossem os ideais se comparados com um cultivo não contaminado com este medicamento.

Em relação ao norfloxacinol e sulfametoxazol, apesar das plantas sobreviverem por um certo tempo de exposição, semelhante aos demais experimentos, elas não desenvolveram as raízes, caule e folhas devido, principalmente, a presença de sódio em sua composição.

A cefalexina é um antibiótico que possui uma menor toxicidade que o norfloxacinol e o sulfametoxazol. O tempo de meia-vida das plantas expostas a este antibiótico foi semelhante aos demais. No entanto, houve um desenvolvimento das raízes, caule e folhas inferior ao controle e às plantas expostas a amoxicilina.

A partir destas constatações, pode-se afirmar que os antibióticos interferem negativamente no desenvolvimento das leguminosas, em especial a *Vigna unguiculata*, tanto pela composição do comprimido quanto pelo composto do princípio ativo dos antibióticos.

Com este estudo é possível comprovar que a presença de compostos farmacêuticos de ação antibiótica pode comprometer o desenvolvimento de plantas como o feijão-caupi. Uma atenção maior deve ser dada ao utilizar práticas alternativas de irrigação e fertilização como o reuso de efluentes tratados e biofertilizantes. Estudos complementares podem ser realizados para aprofundamento dos fenômenos observados neste trabalho.

Agradecimentos

Agradecimento ao Centro Universitário Tabosa de Almeida (ASCES-UNITA) pelo apoio na realização da pesquisa através de editais de bolsa de iniciação científica para os alunos de graduação.

Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

Referências

- ABRANTES, F. L.; SÁ, M. E.; SOUZA, L. C. D.; SILVA, M. P.; SIMIDU, H. M.; ANDREOTTI, M.; BUZZETTI, S.; VALÉRIO FILHO, W. V.; ARRUDA, N. Uso de regulador de crescimento em cultivares de feijão de inverno. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, n. 2, p. 148-154, 2011. DOI: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/8287>
- BLANKENSTEIN, G. M. P.; PHILIPPI JUNIOR, A. O descarte de medicamentos e a política nacional de resíduos sólidos: uma motivação para a revisão das normas sanitárias. *Revista Direito Sanitário*, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 50-74, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v19i1p50-74>
- BORRELY, S. I.; CAMINADA, S. M. L.; PONEZI, A. N. SANTOS, D. R. SILVA, V. H. O. Contaminação das águas por resíduos de medicamentos: ênfase ao cloridrato de fluoxetina. *O Mundo da Saúde*, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 556-563, 2012. DOI: 10.15343/0104-7809.2012364556563
- CRUZ, J. L.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SANTOS, A. A. Salinity nutrients absorption and efficiency of their utilization in cassava plants. *Ciência Rural*, v. 48, n. 11, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180351>

- FRKOVÁ, Z.; VYSTAVNA, Y.; KOUBOVÁ, A.; KOTAS, P.; GRABICOVÁ, K. GRABIC, R.; KODESOVÁ, R. CHORONÁKOVÁ, A. Microbial responses to selected pharmaceuticals in agricultural soils: Microcosm study on the roles of soil, treatment and time. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 149, 107924, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107924>
- FUKE, P.; MANU T, M.; KUMAR, M.; SAWARKAR, A. D.; PANDEY, A.; SINGH, L. Role of microbial diversity to influence the growth and environmental remediation capacity of bamboo: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 167, 113567, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113567>
- GALLEGO, S.; NOS, D.; MONTEMURRO, N.; SANCHEZ-HERNANDEZ, J. C.; PÉREZ, S.; SOLÉ, M.; MARTIN-LAURENT, F. Ecotoxicological impact of the antihypertensive valsartan on earthworms, extracellular enzymes and soil bacterial communities. **Environmental Pollution**, v. 275, 116647, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116647>
- LEAL, L. Y. C.; SOUZA, E. R.; SANTOS JUNIOR, J. A.; SANTOS, M. A. Comparison of soil and hydroponic cultivation systems for spinach irrigated with brackish water. **Scientia Horticulturae**, v.274, n. 15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109616>
- LEI, C.; ENGESETH, N. J. Comparison of growth characteristics, functional qualities, and texture of hydroponically grown and soil-grown lettuce, **LWT**, v. 150, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111931>
- MACEDO, D. X. S.; SANTOS, V. C.; ALBIERO, D.; VIEIRA, J. M.; FREITAS, E. D. Desafios no manejo nutricional de feijão hidropônico. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 173, p. 10-12, 2013. ISSN 1516-358X
- MANDARIC, L.; KALOGIANNI, E.; SKOULIKIDIS, N.; PETROVIC, M.; SABATER, S. Contamination patterns and attenuation of pharmaceuticals in a temporary Mediterranean river. **Science of the Total Environment**, v. 647, p. 561-569, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.308>
- MATSUMURA, A. T.; OLIVEIRA, P. M. R. Estrutura e desenvolvimento da raiz. In: RIGHI, A. A. et al. (Org.). **Botânica no inverno**, 1.ed. São Paulo - Instituto De Biociências. São Paulo. 2012. p. 3-9. ISBN 978-85-85658-29-8 Disponível em: <http://www2.ib.usp.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=64&Itemid=98>. Acessado em: 15 de abr. de 2018, 21:38:26.
- MELLONI, R.; COSTA, N. R.; MELLONI, E. G. P.; LEMES, M. C. S.; ALVARENGA, M. I. N.; NUNES NETO, J. Sistemas agroflorestais cafeeiro-arauucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 784-795, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832392>
- MELO, E. S.; AMORIM, W. R.; PINHEIRO, R. E. E.; CORRÊA, P. G. N.; CARVALHO, S. M. R.; SANTOS, A. R. S. S.; BARROS, D. S.; OLIVEIRA, E. T. A. C.; MENDES, C. A.; SOUSA, F. V. Doenças transmitidas por alimentos e principais agentes bacterianos envolvidos em surtos no Brasil: revisão. **Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 12, n. 10, a. 191, p. 1-9, 2018. DOI: 10.31533/pubvet.v12n10a191.1-9
- OLIVEIRA, R.; AIRES, T. Resistência aos Antibacterianos. **Gazeta Médica**, v. 3, n. 2, p. 14-21, 2016. DOI: <https://doi.org/10.29315/gm.v3i2.113>
- PERIN, M.; DALLEGRAVE, A.; BARNET, L. S.; MENEGHINI, L. Z.; GOMES, A. A.; PIZZOLATO, T. M. Pharmaceuticals, pesticides and metals/metalloids in Lake Guaíba in Southern Brazil: Spatial and temporal evaluation and a chemometrics approach. **Science of the Total Environment**, v. 793, 148561, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148561>
- PETRAZZINI, L. L.; SOUZA, G. A.; RODAS, C. L.; EMRICH, E. B.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. J.; Nutritional deficiency in crisphead lettuce, grown in hydroponics. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p.310-313, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000300012>
- RAMOS, H. M. P.; CRUVINEL, V. R. N.; MEINERS, M. M. M. A.; QUEIROZ, C. A.; GALATO, D. Descarte de medicamentos: Uma reflexão sobre os possíveis riscos sanitários e Ambientais. **Ambiente e Sociedade**, v. 20, n. 4, p. 149-174, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0295r1v2042017>
- ROCHA, D. F.; OLIVEIRA, G. M.; ALMEIDA, L. R. C.; PEREIRA, V. A.; SANTOS, G. V. S. Desempenho do feijão-caupi a densidade de plantas na região Norte da bahia. **Agropecuária Técnica**, v. 40, n. 3-4, p. 48-54, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v40i3-4.45554>
- RODRIGUES, M. A.; KERBAUY, G. B. Meristemas: fontes de juventude e plasticidade no desenvolvimento vegetal. **Hoeheia**, v. 36, n. 4, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2236-89062009000400001>
- SANTOS, A. V.; COUTO, C. F.; LEBRON, Y. A. R.; MOREIRA, V. R.; FOUREAUX, A. F. S.; REIS, E. O.; SANTOS, L. V. S.; ANDRADE, L. H.; AMARAL, M. C. S.; LANGE, L. C. Occurrence and risk assessment of pharmaceutically active compounds in water supply systems in Brazil. **Science of the total environment**, v. 746, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141011>
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>
- VERAS, T. B.; PAIVA, A. L. R.; DUARTE, M. M. M. B.; NAPOLEÃO, D. C.; CABRAL, J. J. S. P. Analysis of the presence of anti-inflammatories drugs in surface water: A case study in Beberibe river – PE, Brazil. **Chemosphere**, v. 222, p. 961-969, 2019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.01.167
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>
- MIRANDA, R. S.; SURÉRIO, F. B.; SOUSA, A. F.; GOMES FILHO, E. Deficiência nutricional em plântulas de feijão-de-corda decorrente da omissão de macro e micronutrientes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 326-333, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000300002>