

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

THIAGO MIRANDA ALVES

**A DUREZA DA ÁGUA E O pH INTERFEREM NA EFICÁCIA DE
TRATAMENTOS COM GLIFOSATO?**

Uberlândia – MG
Dezembro – 2020

THIAGO MIRANDA ALVES

**A DUREZA DA ÁGUA E O pH INTERFEREM NA EFICÁCIA DE
TRATAMENTOS COM GLIFOSATO?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
referente ao Curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo A. R. da Cunha

Uberlândia – MG

Dezembro – 2020

THIAGO MIRANDA ALVES

**A DUREZA DA ÁGUA E O pH INTERFEREM NA EFICÁCIA DE
TRATAMENTOS COM GLIFOSATO?**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado referente ao Curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 21 de dezembro de 2020

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha
Orientador

Doutoranda Roxanna Patricia Palma León
Membro da Banca

Doutorando Arthur Carlos de Oliveira
Membro da Banca

RESUMO

ALVES, Thiago Miranda. **A dureza da água e o pH interferem na eficácia de formulações de glifosato?** 2020. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

O glifosato é um dos herbicidas mais utilizados na atualidade. É altamente solúvel em água, sistêmico e não seletivo. Seu mecanismo de ação baseia-se a interrupção da rota do ácido chiquímico, inibindo a enzima EPSP's. Sua principal forma de absorção é por difusão, e quando aplicado, ocorre uma rápida penetração inicial, e posteriormente uma longa fase de lenta penetração, devido à mudança no gradiente de concentração no interior do sítio de absorção. O objetivo deste trabalho foi avaliar a interferência do pH e da dureza da água na eficácia do glifosato no controle de plantas infestantes. O experimento foi conduzido em uma área experimental localizada na Fazenda da Capim Branco da Universidade Federal de Uberlândia (18°53'S; 48°20'W, com altitude de 835 m, com precipitação anual de 1250 mm) no município de Uberlândia no Estado de Minas Gerais. O experimento foi conduzido em duas áreas, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial de 4 x 4 x 2 + 1, composto por quatro níveis de dureza da água (70, 110, 230 e 430 ppm), quatro níveis de pH (3,5, 4,5, 5,5 e 6,5), duas formulações de glifosato (sal amônico e sal potássico), mais um tratamento adicional, testemunha, sem utilização de nenhum produto fitossanitário, com 33 tratamentos com 4 repetições, totalizando 132 parcelas para cada área. A eficácia de controle foi avaliada aos 7, 14 e 21 após aplicação. O fator herbicida foi significativo em todos os as avaliações feitas nas duas áreas, em contrapartida o fator dureza foi significativo na avaliação feita aos 7 DAA, apenas na primeira área. Levando-se em consideração a presença predominante de *Digitaria horizontalis* nas duas áreas estudadas, pôde-se concluir que a dureza e o pH da água na faixa estudada não mostraram interferência na eficácia do glifosato sal de amônio e sal potássico.

Palavras-chave: herbicida, qualidade da água, pulverização.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
REVISÃO DE LITERATURA	8
MATERIAL E MÉTODOS	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONCLUSÕES	18
REFERÊNCIAS	19

1. INTRODUÇÃO

No ano de 1964, o glifosato (N-(fosfonometil)glicina) foi sintetizado como potencial quelante para uso industrial, e seu uso como herbicida se deu apenas no ano de 1971. Hodiernamente é um dos herbicidas mais utilizados, altamente solúvel em água, sistêmico e não seletivo. O mecanismo de ação se dá pela interrupção da rota do ácido chiquímico, sendo o único herbicida capaz de inibir a enzima EPSP's (5-enolpiruvato-shiquimato-3-fosfato sintase), uma via metabólica participante da síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano. Atua em amplo aspecto de ação para o controle de plantas infestantes, quando aplicado em pós emergência (RODRIGUES, 2005; TIMOSSI, 2006).

Dado sua absorção primariamente por difusão, quando se faz a aplicação deste herbicida, ocorre num primeiro momento uma penetração rápida, prosseguida por uma fase de lenta penetração bastante demorada, devido à diminuição na diferença entre os gradientes de concentração entre a superfície de contato e o interior da planta. (SANTOS, 2014). Fatores como característica da planta, condições ambientais, concentração do herbicida, surfactante utilizado, método de aplicação e qualidade da água influenciam diretamente na absorção e translocação do glifosato (FRAZ, 1997).

A qualidade da água é fundamental para garantir um bom desempenho na aplicação de herbicidas e que segundo autores como Nalewaja e Matysiak (1991), Chahal *et al.* (2012) e Devkota (2016), a eficácia do glifosato é reduzida quando aplicado em solução contendo cátions em grandes quantidades. Muitos elementos influenciam esta qualidade química. A dureza da água, que se relaciona aos teores de carbonatos, de sulfatos, de cloretos e de nitratos de cátions presentes, se destaca, pois pode reduzir a eficácia de defensivos agrícolas (RAMOS, 2008).

A fitotoxicidade deste herbicida também está diretamente influenciada pelo pH da solução, assim como os íons presentes na calda, de modo que sódio e cálcio se mostraram antagônicos a ação do glifosato em pH acima da neutralidade. Esse fenômeno poderia ser explicado pela protonação das moléculas do herbicida em baixo pH, fato pelo qual sua absorção seria mais eficiente (NALEWAJA *et al.*, 1993).

Com a elevação do pH, o glifosato se torna progressivamente menos apto para atravessar as membranas das células de acordo com pesquisa de Velini e Trindade (1992). Tais autores evidenciaram que em pH 5,0, aproximadamente cerca de 79,36% e 20,64% das moléculas de glifosato encontram-se na forma de ânions mono e bivalentes,

respectivamente, enquanto que em pH 8,0 cerca de 0,38% e 99,62% das moléculas encontram-se nas referidas formas, respectivamente.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a interferência do pH e da dureza da água na eficácia do glifosato no controle de plantas infestantes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O glifosato, desde 1971 quando foi relatado seu primeiro uso como herbicida, possui elevada eficácia na eliminação de plantas infestantes, e hoje é, em geral, comercializado de três formas: glifosato-isopropilamônio, glifosato-sesquisódio e glifosato. Em formulações como sal de amônio ou sódio, é um herbicida da classe dos organofosfatos, ainda que não afete o sistema nervoso da mesma forma que outros organofosforados, inibindo a enzima colinesterase (OERKE, 2006).

Ainda que citado como pouco tóxico, há evidências do glifosato ter efeitos deletérios no ambiente, devido principalmente à resistência desenvolvida por algumas espécies de plantas, após uso prolongado do herbicida. Após sua pulverização, é absorvido pelas plantas através das folhas e caulículos novos e, por meio de seus vasos condutores, transportado por toda planta, agindo nos variados sistemas enzimáticos e impedindo o correto funcionamento do metabolismo de síntese de aminoácidos. Os organismos expostos ao glifosato começam a se degradar lentamente, e com o transporte por todo o sistema, todo o corpo da planta morre após alguns dias ou semanas (RODRIGUES, 2011).

Dado o amplo uso do glifosato nos mais variados locais e sistemas, torna-se desejável um estudo de suas propriedades físico-químicas, suas interações com elementos da água e do solo, e detecção e quantificação em amostras naturais. Dependendo do meio, pode apresentar cargas positivas ou negativas na sua formulação, o que possibilita ou não sua ligação entre misturas (VELINI, 2009). Silva *et al.* (2007) postulam que a formulação de produtos e suas reações entre si levaria a incompatibilidade química, inviabilizando aplicações simultâneas, devido a formação de precipitados. Defensivos onde a pré-mistura indica incompatibilidade física poderão causar interações antagônicas e o controle na cultura poderá ser prejudicado (THEISEN, 2004).

O glifosato possui forma molecular $C_3H_8NO_5P$ (m.m. = 169,1 g/mol), acrescido do grupo $(CH_3)_2CHNH_3^+$ na forma de isopropilamônio (m.m. = 228,2 g/mol). Forma

sólidos cristalinos, assim como seus sais, em temperatura e pressão ambientes, sendo estes altamente solúveis em água (12 g/L a 25 °C, para glifosato) e pouco insolúveis em solventes orgânicos comuns. Seu ponto de fusão é aproximadamente 200°C, sua densidade aparente é 0,5 g cm⁻³ e é muito estável em presença de luz, mesmo em temperaturas superiores a 60°C. Os valores da constante de dissociação, pK, que correspondem ao grau de dissociação de determinada substância em função do pH (AMARANTE-JUNIOR, 2002), para o glifosato são: pK₁ = 0,8; pK₂ = 2,16; pK₃ = 5,46; pK₄ = 10,14.

A dissociação das moléculas é reduzida com a acidificação de calda, logo, o herbicida é absorvido com maior facilidade pelas plantas quando em condições de baixo pH, devido às moléculas estarem preservadas na forma não-dissociada (SIDOLI, 2015). Uma solução que contenha glifosato, ao se aumentar o pH, percebe-se o fenômeno de sucessiva desprotonação de suas moléculas. Em pH fisiológico (variando de 5 a 8), este encontra-se carregado negativamente, e se apresenta como ânion monovalente e também como bivalente. Essas variadas cargas negativas na sua superfície molecular fazem com que o herbicida junte-se a cátions bivalentes e trivalentes e tornem-se formas complexadas estáveis (quelatos) em uma solução aquosa (MERVOSH, 1991).

Segundo Cunha e Alves (2009) é necessário precaução nas formulações das caldas para pulverizações, uma vez que poderão reduzir a eficácia dos produtos. O glifosato tem seu efeito aumentado em pH reduzidos, com valores próximos a 4, já que a redução do pH diminui a hidrólise alcalina dos produtos sensíveis a maiores valores de pH.

A tecnologia de aplicação desempenha um papel importante no controle de plantas infestantes. Ramos *et al.* (2004) afirmam que se utilizam variados produtos fitossanitários, formulações, misturas de diferentes produtos e técnicas de aplicação. Não somente volume de calda, mas também outros fatores, como substâncias dissolvidas na água (gases, líquidos ou sólidos), assim como outras impurezas, tem a capacidade de afetar a ação de um produto fitossanitário, dado seu uso como diluente para o preparo de formulações a serem pulverizadas.

A adição de um determinado ingrediente ativo poderá alterar o pH da solução, já que interações de H⁺ e OH⁻ poderão ocorrer com tal ingrediente, levando a redução na concentração da calda, e com tais alterações de pH, influenciar na eficácia e na estabilidade das soluções (PRADO *et al.*, 2011). Produtos utilizados no controle fitossanitário, adicionados à água, rotineiramente modificam os valores de pH da calda a

ser aplicada. Reeves (1983), em estudos relacionados à ação do pH sobre a estabilidade dos produtos fitossanitários, relatou hidrólise alcalina destes em águas com pH em nível elevado, e que esta perda por hidrólise é irreversível, diminuindo, portanto, a eficácia do produto.

Em pré-misturas de defensivos com formulação que contém ácidos e bases dentre seus princípios ativos, há presença de cátions que, se ligando a ânions presentes na água, levariam a formação de compostos insolúveis (AZEVEDO, 2011). Correções de pH, na maior parte dos casos, não são necessárias quando do uso de herbicidas, pois sua natureza acidificante reduz o pH da calda de pulverização (RHEINHEIMER, 2000).

A qualidade química da água é outro elemento a ser analisado, o que pode ser feito de várias maneiras. Uma delas é a dureza, que pode influenciar a eficácia dos defensivos de forma significativa. É entendida como a concentração de cátions alcalino-terrosos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Sr^{+2} e Ba^{+2}) presentes na água, e é expressa na forma de ppm de carbonato de cálcio (CaCO_3) (Tabela 1), caracterizados comumente por Ca^{+2} e Mg^{+2} oriundos de carbonatos, bicarbonatos, cloretos e sulfatos (RAMOS, 2008). Adjuvantes tensoativos, presentes nas formulações de produtos fitossanitários, são responsáveis pela emulsificação (óleos) ou dispersão (pós) de defensivos na água. Estes adjuvantes agem no equilíbrio de cargas que envolvem o ingrediente ativo, e são influenciados diretamente pela dureza, que altera esse equilíbrio, podendo dessa forma prejudicar a qualidade de uma solução de defensivos (QUEIROZ *et al.*, 2008).

Tabela 1. Formas de classificação de dureza de água

Classe	Ppm de CaCO_3	Graus de dureza ($^{\circ}\text{d}$)
Muito Branda	< 71,2	< 4
Branda	71,2 – 142,4	4 – 8
Semi Dura	142,4 – 320,4	8 – 18
Dura	320,4 – 534,0	18 – 30
Muito Dura	> 534,0	> 30

Fonte: CONCEIÇÃO (2003)

Compostos insolúveis são formados a partir da reação de cátions presentes na água dura com um grupo específico de tensoativos, os aniônicos, geralmente sais orgânicos de Na^+ e K^+ , incorrendo um alto desequilíbrio de cargas com a redução da quantidade de tensoativos e levando a floculação ou precipitação dos elementos da formulação, possivelmente causando baixa eficiência da solução e o entupimento por

precipitados de filtros e pontas de pulverização. Felizmente as águas brasileiras, em sua maioria, tem níveis de dureza baixos (brandas), o que não acarreta problemas a aplicação de defensivos.

Outros íons também influenciam na qualidade química da água como Fe^{+3} e Al^{+3} , que podem reagir com o defensivo reduzindo sua eficácia. Porém, esta relação advém da tecnologia utilizada na aplicação, fazendo com que não exista para tais íons uma concentração definida como alta ou baixa. O volume de água usado para a pulverização de uma determinada dose de defensivo em uma determinada área, dada uma mesma concentração, interferirá de forma diretamente proporcional sobre o princípio ativo, ou seja, quanto maior este volume, maior a interferência (RAMOS, 2006).

Numa aplicação de uma certa dose de um produto qualquer, é esperado uma interferência muito menor da qualidade da água na aplicação aérea, pois se utilizam volumes muito menores de água que na aplicação com um pulverizador de barras, que utiliza altos volumes de calda (AZEVEDO, 2011). A adequada taxa de aplicação deve ser ajustada por um profissional competente, de acordo com o produto e tecnologia de aplicação utilizado (CONCEIÇÃO, 2003). Em caso de incompatibilidade, agentes sequestrantes podem ser utilizados para viabilizar o uso de determinadas fontes de água, pois estes quelatizam íons, inativando-os e viabilizando o uso destas (OERKE, 2006).

Uma vez observadas todas essas características, a calda pode ser preparada atendendo aos demais parâmetros técnicos e operação previstos pela tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários, podendo ser utilizados de forma a garantir que os defensivos proporcionem máxima eficácia no controle de pragas e doenças (QUEIROZ *et al.*, 2008). Avaliando-se águas oriundas de poços artesianos, de arroios e de açudes, usadas para a formulação de caldas de pulverização no Rio Grande do Sul, com o intuito de determinação do pH, condutividade elétrica e suas curvas de acidificação, Rheinheimer e Souza (2000) concluíram que as águas apresentam classes de pH diferentes, e que a condutividade elétrica é uma grandeza apropriada para se estimar a necessidade de ácido para sua acidificação. Esses resultados colaboram para o cuidado na utilização dessas águas para preparo de caldas com herbicidas, já que, em alguns casos, como o dos grupamentos ácidos do glifosato, a eficácia é dependente do pH da calda (WANAMARTA, 1989).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área experimental localizada na Fazenda Capim Branco da Universidade Federal de Uberlândia (18°53'S; 48°20'W, com altitude de 835 m, com precipitação anual de 1250 mm, topografia plana) no município de Uberlândia no Estado de Minas Gerais, com área total de aproximadamente 2640 m². A etapa de análises laboratoriais foi conduzida no Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC), também pertencente à Universidade Federal de Uberlândia.

A condução do experimento foi feita em duas áreas, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial de 4 x 4 x 2 + 1, composto por quatro níveis de dureza da água (70, 110, 230 e 430 ppm), quatro níveis de pH (3,5, 4,5, 5,5 e 6,5), duas formulações de glifosato (*Roundup WG*, sal amônico, 792,5 g kg⁻¹ e *Zapp QI*, sal potássico, 620 g L⁻¹), mais um tratamento adicional, testemunha, sem utilização de nenhum produto fitossanitário, com 33 tratamentos com 4 repetições, totalizando 132 parcelas para cada área. A área de cada parcela era de 10 m² (5x2), e 1 m de cada extremidade foi desconsiderado nas avaliações estatísticas.

As doses dos herbicidas foram definidas de acordo com a recomendação do rótulo de cada produto, utilizando a planta invasora Campim-colchão (*Digitaria horizontalis* Willd) como referência. Todos os produtos utilizados durante o experimento são liberados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sendo de comum utilização no controle de plantas infestantes.

As caldas foram preparadas usando-se água destilada como base. Os quatro níveis de dureza (70, 110, 230 e 430 ppm) foram ajustados utilizando-se carbonato de cálcio (CaCO₃). Para análise foi utilizado o método volumétrico, onde uma solução do ácido Etilenodiaminotetraacético (EDTA) ou seus sólidos, é utilizado para solução titulante. O EDTA forma um quelato extremamente estável quando adicionado a cátions como Mg²⁺. Utilizou-se a tintura negro de eriocromo (Erio T), como indicador da reação, onde são formados complexos de cor vermelho-vinho com os íons responsáveis pela dureza.

Após o ajuste dos níveis de dureza, prosseguiu-se a regulação do pH. Para tornar a solução ácida, foi adicionado ácido fosfórico (H₃PO₄ – 85% de pureza) a 0,5 molar, e para se elevar o pH foi utilizado hidróxido de sódio (NaOH – 95% de pureza), também a 0,5 molar, até se atingir os quatro níveis esperados (3,5; 4,5; 5,5 e 6,5).

As aplicações dos defensivos foram realizadas no período do início da manhã e final da tarde, obedecendo as indicações disponíveis na bula. As condições meteorológicas durante as aplicações foram monitoradas por um termo-higroanemômetro (4000, Kestrel), que registrou valores de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento variando de 25 a 31° C, 65 a 76% e 1,0 a 3,2 km h⁻¹, respectivamente. Foram utilizados para todos os tratamentos as mesmas pontas de pulverização: jato plano com indução de ar (AirMix[®], Agrotop) 11001. Para as aplicações foi utilizado um pulverizador costal acionado por pressão constante (CO₂), com 4 pontas espaçadas entre si em 0,5 m, conferindo uma faixa de aplicação de 2 m. Foi adotada uma pressão de trabalho de 2 bar (200 kPa), velocidade de 4 km h⁻¹, com taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹.

A avaliação da eficácia no controle das plantas invasoras foi feita aos 7, 14, e 21 dias após a aplicação (DAA), utilizando-se uma escala de pontuação visual de percentual de controle, onde 0% representou parcelas não controladas e 100% representou o controle total das plantas invasoras (ALAM, 1974).

Com todas as pressuposições atendidas, foi feita a análise estatística usando-se o software R (R Package[®], Vienna). Foi realizado o teste de análise de variância (ANOVA) para o percentual de controle de plantas daninhas, tomando cada dia de avaliação como uma variável diferente. Posteriormente, foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$) quando a análise de variância foi significativa, tanto para o fator herbicida quanto para os fatores pH e dureza. O teste de Dunnett ($p < 0,05$) foi usado para comparação com o tratamento adicional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da eficácia do controle na Área 1 estão apresentados na Tabela 2. A principal planta daninha presente na área foi a *Digitaria horizontalis*, com 90% de infestação na área testemunha. O fator herbicida foi significativo em todas as avaliações, em contrapartida o fator dureza foi significativo apenas na avaliação feita aos 7 DAA. Na primeira avaliação realizada, o sal amônico teve média de eficácia de controle de 62,19%, enquanto sal potássico teve média de 53,28%.

Tabela 2. Eficácia do controle de plantas daninhas (Área 1) aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), com o uso do herbicida glifosato sal amônico e sal potássico, em

função da dureza e do pH da água							
Dureza a (ppm CaCO ₃)	pH	Eficácia de controle de plantas daninhas (%)					
		7 DAA		14 DAA		21 DAA	
		Herbicida					
		Sal amônico	Sal potássico	Sal amônico	Sal potássico	Sal amônico	Sal potássico
70	3,5	60,0 *	55,0 *	91,25 *	92,00 *	97,50 *	97,75 *
	4,5	65,0 *	60,0 *	95,75 *	92,00 *	98,25 *	96,75 *
	5,5	75,0 *	50,0 *	95,25 *	90,00 *	98,25 *	97,00 *
	6,5	60,0 *	50,0 *	92,00 *	93,25 *	97,75 *	96,00 *
110	3,5	67,5 *	57,5 *	94,25 *	93,75 *	98,00 *	97,50 *
	4,5	65,0 *	47,5 *	95,75 *	87,50 *	98,50 *	95,00 *
	5,5	57,5 *	52,5 *	96,00 *	92,50 *	98,75 *	96,50 *
	6,5	57,5 *	52,5 *	95,00 *	89,00 *	98,25 *	96,75 *
230	3,5	67,5 *	55,0 *	97,00 *	92,00 *	99,25 *	98,00 *
	4,5	62,5 *	57,5 *	92,50 *	92,50 *	98,50 *	98,00 *
	5,5	60,0 *	55,0 *	92,50 *	91,25 *	97,75 *	96,75 *
	6,5	70,0 *	57,5 *	96,50 *	93,75 *	99,50 *	96,75 *
430	3,5	60,0 *	52,5 *	93,50 *	88,75 *	97,25 *	95,50 *
	4,5	55,0 *	52,5 *	93,25 *	95,75 *	98,50 *	98,00 *
	5,5	55,0 *	47,5 *	93,75 *	87,50 *	98,75 *	94,75 *
	6,5	57,5 *	50,0 *	92,00 *	88,75 *	98,00 *	94,00 *
Test	0		0		0		
Média	62,19 a	53,28 b	94,14 a	91,27 b	98,30 a	96,56 b	
CV(%)	5,36		2,22		2,8		
F _{Dureza}	4,1956**		1,0451 ^{ns}		2,0631 ^{ns}		
F _{pH}	0,7639 ^{ns}		0,2022 ^{ns}		0,5538 ^{ns}		
F _{Herbicida}	36,6763**		14,3828**		24,9944**		
F _{Dureza x pH}	1,2054 ^{ns}		1,2063 ^{ns}		0,9523 ^{ns}		
F _{Dureza x Herbicida}	0,4929 ^{ns}		0,6537 ^{ns}		0,9054 ^{ns}		
F _{pH x Herbicida}	0,1919 ^{ns}		0,2821 ^{ns}		1,138 ^{ns}		
F _{Dureza x pH x Herbicida}	1,3759 ^{ns}		1,3874 ^{ns}		0,7215 ^{ns}		
F _{Adicional x Fatorial}	186,8145**		1812,6051**		9560,623**		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha, diferem entre si a 0,05 de significância pelo teste de Tukey; *Tratamentos que diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância; CV (%): coeficiente de variação; F_{Dureza}: Valor F para dureza; F_{pH}: Valor F para pH; F_{Herbicida}: Valor F para herbicida; F_{Dureza x pH}: Valor F para a interação dureza x pH; F_{Dureza x Herbicida}: Valor F para a interação dureza x herbicida; F_{pH x Herbicida}: Valor F para a interação pH x herbicida; F_{Dureza x pH x Herbicida}: Valor F para a interação dureza x pH x herbicida; F_{Adicional x Fatorial}: Valor F para a interação do adicional x fatorial; **significativo a 0,05; ^{ns}não significativo.

A interação entre os fatores herbicida, dureza de água e pH não foi significativa, demonstrando a não dependência desses fatores para os dados apresentados. Nas avaliações aos 14 e 21 DAA, o herbicida a base de sal de amônio continuou a apresentar

valores superiores ao produto a base de sal potássico, com valor médio da eficácia de controle acima dos 90%, considerado por Cunha *et al.* (2009), ótimo.

Segundo Scherner *et al.* (2014), as espécies de plantas daninhas *Leersia hexandra* e *Luziola peruviana* respondem de forma distintas às diferentes formulações do glifosato. Essa diferença na eficácia dos diferentes produtos à base de glifosato na mesma base equivalente do ácido pode estar ligada a velocidade de absorção, aumentando a captação e a translocação do herbicida.

Em estudos realizados por Gauvrit (2009), em Evreux, na França, verificou-se que a maior eficácia do herbicida glifosato a base de sais de amônio está atribuída à atividade do sulfato com cátions presentes na água, sobretudo Ca^{2+} e Mg^{2+} . A extrusão de prótons (H^+) do apoplasto por meio de ATPases é estimulado a partir do desequilíbrio eletroquímico no interior das células devido a absorção e a metabolização de grande quantidade de íons amônio (CARVALHO *et al.*, 2012). Além disso, Carvalho *et al.* (2009) afirmam que a adição de sulfato de amônio à calda promove alteração na morfologia das gotas e atrasa ou previne a cristalização do glifosato na superfície foliar.

O pH não interferiu na eficácia de controle das plantas daninhas. Em contrapartida Kissmann (1997) descreveu que o pH interfere diretamente nos resultados obtidos pela pulverização, visto que, quando tem-se valores de pH da água alcalino, a degradação do herbicida por hidrólise é alta, tal fator está relacionado a constante de dissociação. Muitas moléculas de herbicidas dependem do pH e a sua absorção pelos tecidos vegetais varia dependendo da molécula ser íntegra ou dissociada.

No entanto, de acordo Ramos e Araújo (2006), estando todas as características inalteradas e apenas o pH com valores alterados, em raríssimos casos se observará interferência na eficácia dos produtos aplicados, corroborando com os resultados deste trabalho. Embora hodiernamente seja comum ver recomendações de pHs ideais para a ação do glifosato, dentro da faixa estudada e sem levar em consideração valores muito extremos, não se verificou a necessidade de se promover correções.

Tem-se abaixo o efeito da dureza na eficácia de controle aos 7 DAA. Verifica-se que a elevação da dureza promoveu uma redução de controle. A dureza de 430 ppm de CaCO_3 ocasionou a menor eficácia de controle, embora semelhante a 110 ppm. Aos 14 e 21 DAA, não se observou esse efeito. Dessa forma, embora a dureza não tenha comprometido o tratamento ao final do período avaliado, a diferença encontrada aos 7 DAA sugere que há interferência na atividade do glyphosate, o que poderia ser

verificado em plantas de difícil controle, o que não ocorreu na área avaliada, ou com águas de maior dureza (>430 ppm CaCO₃) (tabela 3).

Tabela 3. Eficácia de controle de plantas daninhas aos 7 dias após aplicação (DAA) em função da dureza da água (Área 1)

Dureza (ppm CaCO ₃)	Eficácia de Controle (%)
70	59,4 A
110	57,2 AB
230	60,6 A
430	53,7 B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, a 0,05 de significância pelo teste de Tukey.

Na Tabela 4, tem-se os resultados da eficácia de controle na Área 2, que teve comportamento semelhante ao da Área 1. A área 2 também apresentava como principal planta daninha a *Digitaria horizontalis*, mas com presença de *Eleusine indica*, *Cenchrus echinatus* e *Ipomoea indivisa*, que apresentaram comportamento semelhante a *Digitaria* nas três avaliações.

O uso de herbicida foi significativo em todas as épocas de avaliação, diferenciando-se da testemunha. O sal amônico apresentou melhores resultados em relação ao potássico, nas 3 avaliações, com valor médio da eficácia de controle acima dos 90% após os 14 DAA. Não ocorreu significância dos fatores pH e dureza de água, confirmando os resultados anteriores.

Tabela 4. Eficácia do controle de plantas daninhas (Área 2) aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), com o uso do herbicida glifosato sal amônico e sal potássico, em função da dureza e do pH da água

Dureza a (ppm CaCO ₃)	pH	Eficácia de controle de plantas daninhas (%)					
		7 DAA		14 DAA		21 DAA	
		Herbicida					
		Sal amônico	Sal potássico	Sal amônico	Sal potássico	Sal amônico	Sal potássico
70	3,5	67,5 *	67,5 *	90,00 *	88,75 *	94,50 *	94,50 *
	4,5	75,0 *	60,0 *	91,25 *	88,75 *	93,25 *	93,75 *
	5,5	62,5 *	62,5 *	88,75 *	85,00 *	95,75 *	91,25 *
	6,5	67,5 *	57,5 *	90,00 *	88,75 *	95,75 *	93,75 *
110	3,5	62,5 *	57,5 *	92,00 *	85,00 *	95,25 *	91,25 *
	4,5	72,5 *	62,5 *	90,00 *	86,25 *	96,50 *	93,75 *
	5,5	70,0 *	60,0 *	91,25 *	86,25 *	94,50 *	92,50 *

	6,5	70,0 *	57,5 *	92,50 *	86,25 *	97,25 *	92,50 *
230	3,5	72,5 *	62,5 *	92,50 *	85,00 *	95,75 *	92,50 *
	4,5	72,5 *	67,5 *	91,25 *	90,00 *	96,50 *	93,25 *
	5,5	65,0 *	55,0 *	91,25 *	82,50 *	94,50 *	87,5 *
	6,5	67,5 *	57,5 *	88,75 *	87,50 *	95,75 *	94,50 *
430	3,5	60,0 *	52,5 *	88,75 *	83,75 *	95,00 *	90,00 *
	4,5	70,0 *	62,5 *	91,25 *	86,25 *	96,50 *	90,00 *
	5,5	72,5 *	57,5 *	91,25 *	86,25 *	93,75 *	92,50 *
	6,5	75,0 *	62,5 *	90,75 *	88,75 *	94,50 *	95,00 *
Test	0		0		0		
Média	68,9 a	60,16 b	90,72 a	86,56 b	95,31 a	92,41 b	
CV(%)	2,26		3,08		1,55		
F _{Dureza}	0,0763 ^{ns}		0,079 ^{ns}		0,338 ^{ns}		
F _{pH}	1,3646 ^{ns}		0,9062 ^{ns}		2,2253 ^{ns}		
F _{Herbicida}	19,9348**		28,1382**		23,7706**		
F _{Dureza x pH}	1,0312 ^{ns}		0,6301 ^{ns}		0,6333 ^{ns}		
F _{Dureza x Herbicida}	0,2204 ^{ns}		0,8107 ^{ns}		0,6642 ^{ns}		
F _{pH x Herbicida}	0,356 ^{ns}		0,8744 ^{ns}		0,4003 ^{ns}		
F _{Dureza x pH x Herbicida}	0,3503 ^{ns}		0,4463 ^{ns}		1,2132 ^{ns}		
F _{Adicional x Fatorial}	131,426**		1551,3334**		3005,2093**		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha, diferem entre si a 0,05 de significância pelo teste de Tukey; *Tratamentos que diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância; CV (%): coeficiente de variação; F_{Dureza}: Valor F para dureza; F_{pH}: Valor F para pH; F_{Herbicida}: Valor F para herbicida; F_{Dureza x pH}: Valor F para a interação dureza x pH; F_{Dureza x Herbicida}: Valor F para a interação dureza x herbicida; F_{pH x Herbicida}: Valor F para a interação pH x herbicida; F_{Dureza x pH x Herbicida}: Valor F para a interação dureza x pH x herbicida; F_{Adicional x Fatorial}: Valor F para a interação do adicional x fatorial; **significativo a 0,05; ^{ns}não significativo.

5. CONCLUSÕES

Levando-se em consideração a presença predominante de *Digitaria horizontalis* nas duas áreas estudadas, pôde-se concluir que a dureza e o pH da água na faixa estudada não mostraram interferência na eficácia do glifosato sal de amônio e sal potássico. A formulação a base de sal de amônio foi superior à de sal potássico, porém, ambas apresentaram excelente controle nas faixas de pH e dureza analisadas.

REFERÊNCIAS

- ALAM – Asóciacion Latinoamericana de Malezas. **Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de avaliacion en ensayos de control de malezas**. ALAM, Bogotá, v. 1, n. 1, 1974.
- AMARANTE-JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. **Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação**. Química Nova, v. 25, n. 4, 2002.
- AZEVEDO, L. A. S. **A importância da água nas misturas de tanque**. 1 ed. Rio de Janeiro. IMOS Gráfica e Editora, 2011.
- CARVALHO, S. J. P. D.; DAMIN, V.; DIAS, A. C. R.; YAMASAKI, G. M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. **Eficácia e pH de caldas de glifosato após a adição de fertilizantes nitrogenados e utilização de pulverizador pressurizado por CO₂**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 6, 2009.
- CARVALHO, S. J. P.; DAMIN, V.; DIAS, A. C. R.; FILHO, H. Y.; CHRISTOFFOLETI, P. J. **Pulverização de glyphosate utilizando solução de uréia + sulfato de amônio**. Revista Brasileira de Herbicidas. vol. 11, n. 1, 2012.
- CHAHAL, G.; ROSKAMP, J.; LEGLEITER, T.; JOHNSON, W. G. The influence of spray water quality on herbicide efficacy. **Purdue University Extension**. 2012. Disponível em: <[http://www3.ag.purdue.edu/btny/weed science/documents/Water-Quality.pdf](http://www3.ag.purdue.edu/btny/weed%20science/documents/Water-Quality.pdf)>. Acesso em 30 de junho de 2020.
- CONCEIÇÃO, M. Z. Defesa vegetal: legislação, Normas e produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M.Z.; SANTIAGO, T. **O que Engenheiros Agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**, 2a. Viçosa: UFV/ANDEF, 2003.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. **Características físicoquímicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola**. Interciência, v. 34, n. 9, 2009. Disponível em: <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000900012&lng=es&nrm=iso> Acesso: 19 de outubro de 2020.
- DEVKOTA, P.; JOHNSON, W. G. **Glufosinate efficacy as influenced by carrier water, hardness, foliar fertilizer and ammonium**. Weed Technol. 2016.
- FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. **Glyphosate: a unique global herbicide**. Washington: AOS monograph, 1997.
- GAUVRIT, C. **Glyphosate Response to Calcium, Ethoxylated Amine Surfactant, and Ammonium Sulfate**. Weed Technology, 2009.
- KISSMANN, K. G. **Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos. In: Congresso brasileiro de ciência das plantas daninhas**. Caxambu. Palestras e mesas redondas. Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997.

- MERVOSH, T.L.; BALKE, N. E. **Effects of calcium, magnesium and phosphate on glyphosate absorption by cultured plant cells.** Weed Sci. v. 39, n. 3, 1991.
- NALEWAJA, J. D.; MATYSIAK, R. **Salt antagonism of glyphosate.** Weed Sci. v. 39, n. 3, 1991.
- NALEWAJA, J. D.; MATYSIAK, R. **Species differs in response to adjuvants with Glyphosate.** Weed Technol. 1992.
- OERKE, E. C. **Crop losses topest.** The Journal of Agricultural Science. 2006.
- QUEIROZ, A. A.; MARTINS, J. A. S.; CUNHA, J. P. A. R. **Adjuvantes e qualidade da água na aplicação de agrotóxicos.** Bioscience Journal, v. 24, n. 4, 2008.
- PRADO, E. P.; ARAÚJO, D.; RAETANO, C. G.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; AGUIAR-JÚNIOR, H. O.; CHRISTOVAM, R. S. **Influência da dureza e potencial hidrogeniônico da calda de pulverização sobre o controle do ácaro-da-leprose em frutos de laranja doce.** *Bragantia*, Campinas, v.70, n.2, 2011.
- RAMOS, H. H.; ARAÚJO, D. de. **Preparo da calda e sua interferência na eficácia de agrotóxicos.** 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/V2/index.htm>. Acesso em: 31/10/2020
- RAMOS, H. H.; YANAI, K.; CORRÊA, I. M.; BASSANEZI, R. B.; GARCIA, L. C. Efeito do volume de calda aplicado com turbopulverizador sobre o controle do ácaro da leprose em citros. In: **Simpósio internacional de tecnologia de aplicação de agrotóxicos**, 2004, Botucatu, SP. Anais... Botucatu, SP: Fundação de Estudos e Pesquisas Agropecuárias e Florestais. 2004.
- RAMOS, H. H.; DURIGAN, J. C. **Efeitos da qualidade da água de pulverização sobre a eficácia de herbicidas aplicados em pós-emergência.** *Bragantia*, Campinas, v. 57, n. 2, 2008.
- REEVES, B. **The effect of water pH on pesticides.** Oregon Horticultural Society, v.74, n. 1, 1983.
- RHEINHEIMER, D. S.; SOUZA, R. O. **Condutividade elétrica e acidificação de águas usadas na aplicação de herbicidas no Rio grande do sul.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 1, 2000.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas.** 5.ed. Londrina, 2005. 592p.
- SANTOS, A. F. **Qualidade e pH das águas de propriedades citrícolas e de rios da Amazônia central sobre a eficiência do glifosato no controle de *Brachiaria decumbens*.** 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) Universidade Federal do Amazonas, Manaus 2014.
- SIDOLI, P.; BARAN, N.; ANGULO-JARAMILLO, R. **Glyphosate and AMPA adsorption in soils: laboratory experiments and pedotransfer rules.** *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 23, n. 6, 2015

SILVA, J. F. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, 23 MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p. disponível em: < cbbai2013.web2265.uni5.net/cdonline/docs/trab-7645-616.pdf > Acesso dia 20 de outubro de 2020.

THEISEN, G.; RUEDELL, J. **Tecnologia de aplicação de herbicidas – teoria e prática**. Passo Fundo: 2004. 90 p. Disponível em: < cbbai2013.web2265.uni5.net/cdonline/docs/trab7645-616.pdf. > Acesso: 20 de setembro de 2020.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. **Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura**. Planta Daninha, v. 24, n. 3, 2006.

VELINI, E. D.; TRINDADE, M. L. B. Comportamento de herbicidas na planta. Épocas de aplicação de herbicidas. In: **Simpósio nacional sobre manejo integrado de plantas daninhas em hortaliças**, 1992, Botucatu, SP. Anais... Botucatu: UNESP, 1992, p. 6586. VIDAL, R. A.; MEROTTO Jr. A. Herbicidologia. Porto Alegre: Edição dos Autores, 2001.

VELINI, E. D. **Sorção e Dessorção do Glyphosate no solo**. Botucatu: FEPAF. 2009. 469 p.

VIECELLI, M.; PAGNONCELLI J. R. F. B.; TREZZI, M. M.; CAVALHEIRO, B. M.; GOBETTI, R. C. R. **Resposta de plantas de trigo a combinações de herbicidas com inseticidas e fungicidas**. Planta daninha, Viçosa, v. 37, n. 2, 2019.

VIVOT, P. E., RUGNA, C. M., GIECO, A. M., SÁNCHEZ, C. I., ORMAECHEA, M. V. Y SEQUIN, C. J. **Calidad del agua subterránea para usos agropecuarios en el departamento Villaguay**, Entre Ríos. 2010. Disponível em <<http://www.acuedi.org/ddata/8389.pdf>>. Acesso 30 de junho de 2020.

WANAMARTA, G., PENNER, D. **Foliar absorption of herbicides**. Weed Science, Champaign, v. 4, n. 1, 1989.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. **Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas**. International plant nutrition institute. Piracicaba: Informações Agronômicas, 2007. 24p. (Boletim Técnico 119).

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. ABEAS. **Curso de proteção de plantas, módulo 7: controle de doenças de plantas**. Brasília, DF: ABEAS, 1998. 42 p. Curso de Especialização por Tutoria à Distância. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0596.pdf> > Acesso: 15 de setembro de 2020.