



DESEMPENHO DE GOTEJADORES SUBMETIDOS A SOLUÇÕES COM DIFERENTES FORÇAS IÔNICAS

R. Lavanholi¹, F. C. de Oliveira¹, A. C. S. Araújo², D. J. S. Pereira³, A. P. Camargo⁴,
J. A. Frizzzone⁵

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho de gotejadores utilizando água com partículas de argila em suspensão com diferentes forças iônicas. Foram utilizados dois tipos de argila (caulinita e montmorilonita) e cinco valores de forças iônicas, proporcionadas por íons distintos (Na, Ca e Al). A variação da força iônica foi proporcionada pela adição de sais à solução. As forças iônicas utilizadas foram: força iônica proporcionada pelo Na ($0,31 \text{ mol L}^{-1}$), força iônica proporcionada pelo Ca ($0,81 \text{ mol L}^{-1}$), força iônica proporcionada pelo Al com menor concentração ($1,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$), força iônica proporcionada pelo Al com maior concentração ($2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$) e força iônica proporcionada pela água, sem adição de íons ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$). A força iônica da solução e natureza dos materiais de argila apresentaram efeito sobre o desempenho dos gotejadores. Enquanto que a caulinita em solução salina de sódio, proporcionou máximo incremento de vazão de 5%, a montmorilonita causou redução máxima de vazão de 15%. As forças iônicas proporcionadas pelo íon cálcio, alumínio e sem adição de íon não apresentaram efeito expressivo sobre o desempenho dos gotejadores, tanto para caulinita quanto para montmorilonita.

PALAVRA-CHAVE: obstrução, microirrigação, argila, incremento de vazão

PERFORMANCE OF DRIPPERS SUBMITTED TO SOLUTIONS WITH DIFFERENT IONIC STRENGTHS

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the performance of drippers using water with clay particles in suspension with different ionic strengths. Were used two types of clay (kaolinite and montmorillonite) and five values of ionic strengths, resulting by distinct ions (Na, Ca and Al). The ionic strength variation was resulted by the addition of salts to the solution. The ionic strengths used were: Ionic strength provided by Na ($0,31 \text{ mol L}^{-1}$), ionic strength

¹ Mestranda ESALQ/USP. Piracicaba – SP. E-mail: satiroagro@usp.com

² Mestrando ESALQ/USP. Piracicaba–SP. Email: talamini.1988@gmail.com

³ Gerente LEMI/ESALQ/USP – Piracicaba-SP. E-mail

⁴ Técnico de Ensaios LEMI/ESALQ/USP – Piracicaba- SP. E-mail:

⁵ Professor Titular da ESALQ/USP – Piracicaba – SP. E-mail: frizzzone@usp.br

provided by Ca (0.81 mol L^{-1}), ionic strength provided by Al with lower concentration ($1,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$), ionic strength provided by Al with higher concentration ($2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$) and ionic strength provided by water, with no addition of ions ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$). The ionic strength of solution and nature of the clay type presented effects over the performance of the drippers. While the kaolinite in sodium saline solution, provided increment of flow rate of 5%, the montmorillonite caused the reduction of flow rate of 15%. The provided ionic strengths by the calcium and aluminum ion and with no addition of ion did not presented important effect over the drippers performance, such for kaolinite as for montmorillonite.

KEYWORDS: clogging; microirrigation; clay; flow increment

INTRODUÇÃO

A obstrução dos gotejadores tem sido apontada como a principal limitação do sistema, uma vez que além de proporcionar redução da durabilidade dos equipamentos (CAMARGO et al., 2013), pode causar redução da uniformidade de aplicação de água dos emissores (ZHOU et al., 2013, 2015). A obstrução dos emissores pode ser classificada de acordo com sua origem como física, química e/ou biológica. Em campo, geralmente, é causada pela combinação entre as diferentes origens (NAKAYAMA; BUCKS, 1991; BOUNOUA et al., 2016). A obstrução classificada como origem física é causada por partículas em suspensão, podendo ser de origem inorgânicas (areia, silte, argila e plásticos) e orgânicas (organismos aquáticos, zooplâncton, caramujos, peixes, larvas de insetos, formigas e aranhas) (BUCKS; NAKAYAMA; GILBERT, 1979).

Embora os principais agentes que proporcionam obstrução sejam conhecidos, o conhecimento dos processos envolvidos são poucos estudados, principalmente em relação a obstrução causada por partículas pequenas. Aparentemente as argilas são pequenas para proporcionar a obstrução dos emissores, por isso, poucas pesquisas têm sido realizadas avaliando o comportamento da obstrução causada por esse tipo de partícula. Não obstante, partículas de pequeno diâmetro podem passar através dos sistemas de filtragem alcançando os gotejadores (NIU; LIU; CHEN, 2013).

No interior dos gotejadores, influenciadas pelas características do escoamento no labirinto e pelas condições físico-químicas da solução, as partículas podem se depositar nas regiões de vórtices e zonas de estagnação, aumentando o potencial de obstrução de partículas

desta natureza (NIU; LIU; CHEN, 2013; BOUNOUA et al., 2016; AL-MUHAMMAD; TOMAS; ANSELMET, 2016).

O efeito da força iônica sobre a obstrução dos gotejadores ocorre não apenas pela precipitação de íons, mas também devido ao processo de agregação das partículas, principalmente coloidais. No entanto, devido à complexidade desse processo, não se conhece como cada fator pode interferir sobre a obstrução. Dentre os principais fatores a serem compreendidos destacam-se: a interação pH/força iônica, características intrínsecas da partícula (cargas trocáveis e variáveis, diâmetro, superfície específica e massa específica) e também as condições de escoamento em que a partícula está submetida (taxa de cisalhamento, intensidade de turbulência e energia cinética turbulenta) (ZHANG; LIU; LIU, 2012; BOUNOUA et al., 2016; AL-MUHAMMAD; TOMAS; ANSELMET, 2016).

Visando contribuir com a compreensão do processo de obstrução causado por partículas de argila em suspensão, o objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho de gotejadores utilizando água com partículas de argila em suspensão com diferentes forças iônicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma bancada projetada para a realização de ensaios de obstrução de gotejadores, no Laboratório de Ensaios de Material de Irrigação, da ESALQ/USP, em Piracicaba, SP. A bancada de ensaios está equipada com reservatório de água de 250 L, conjunto motobomba, agitador, derivação com bifurcação simétrica, conjunto de coletores para medição automatizada da vazão e um sistema automatizado para monitoramento contínuo da vazão de até 32 gotejadores. A vazão de água é igualmente distribuída entre oito linhas laterais montadas em paralelo e de igual comprimento (2,8 m). A pressão de ensaio (100 kPa) foi monitorada por um manômetro digital instalado no início de uma das linhas laterais (Figura 1).

Nesta pesquisa foram utilizados dois tipos de compostos de argila. Um dos compostos é constituído pelo mineral caulinita (argila 1:1) e outro pelo mineral montmorilonita (argila 2:1). A concentração de partículas de argila foi a mesma para todos os tratamentos (500 mg L^{-1}).

Os tratamentos são constituídos por diferentes valores de força iônica (I) da água. Foram calculadas cinco forças iônicas proporcionadas por íons distintos. A força iônica foi calculada por meio da eq. (1), sendo utilizados três íons de interesse. Para força iônica proporcionada pelo Na, Ca e Al, foram adicionados: cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sulfato de alumínio hexadecahidratado ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$), respectivamente. A força

iônica proporcionada apenas pela água foi calculada considerando os íons observados na análise da água.

$$I = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2 \quad (1)$$

As concentrações e as forças iônicas proporcionadas pelos sais adicionados são apresentados na Tabela 1. Em relação ao Al, o íon não é frequentemente observado em água de irrigação, de forma geral, apresenta baixa concentração nos cursos de água naturais. Contudo, apresenta um alto potencial de agregação de partículas. Por isso, visando maior compreensão desse processo, foram utilizadas duas forças iônicas proporcionadas por esse íon, uma com menor concentração de Al (I-Al_a) e uma com maior concentração Al (I-Al_b).

Tabela 1. Características dos tratamentos avaliados na análise do efeito da força iônica

Tratamentos	Denominação	I (mol L ⁻¹)	c _i (g L ⁻¹)
Força iônica proporcionada pelo Na	I-Na	0,31	6,897
Força iônica proporcionada pelo Ca	I-Ca	0,81	8,016
Força iônica proporcionada pelo Al-a	I-Al _a	1,7 10 ⁻²	0,005
Força iônica proporcionada pelo Al-b	I-Al _b	2,0 10 ⁻²	0,015
Força iônica proporcionada pela água	I-água	0,01	-

Foram utilizados dois modelos de tubos gotejadores com emissores convencionais, sem mecanismo regulador de pressão, integrados, com formato plano (tipo pastilha). Avaliaram-se 15 gotejadores de cada modelo de forma simultânea. Os tubos gotejadores são da marca NaanDanJain® modelo Taldrip e foram selecionados porque os emissores apresentam geometria similar, com vazões de 0,6 L h⁻¹ (modelo A) e 1,7 L h⁻¹ (modelo B).

O ensaio de obstrução ocorreu durante 40 horas em regime intermitente, sendo 8 horas de ensaio e 16 horas em repouso. Após a avaliação de cada concentração, os tubos gotejadores foram substituídos por novos e a bancada foi limpa, a fim de evitar qualquer efeito residual ou influência de ensaios anteriores.

A avaliação do desempenho dos gotejadores foi realizada com base nos valores médios de vazão relativa (média de 15 gotejadores), sendo a média obtida a cada 8 h de ensaios, e correspondente a 384 medidas automatizadas de vazão. A vazão relativa (q_r), obtida após a realização dos ensaios de um determinado tratamento, expressa em porcentagem, foi obtida pela eq. (1), que considera a vazão inicial (q_i) e a vazão final (q_f) dos gotejadores.

$$q_r = 100 \frac{q_f}{q_i} \quad (2)$$

Os resultados foram apresentados em forma de gráficos, relacionando a vazão relativa média em função do tempo de ensaio. Para complementar as análises, utilizou-se o

delineamento experimental inteiramente casualizado, aplicando-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias de vazões relativas obtidas em um determinado tratamento, para um mesmo período de tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da força iônica sobre a redução de vazão dos gotejadores submetidos às partículas de caulinita em suspensão foi praticamente inexistente. Enquanto que a força iônica proporcionada apenas pela água causou redução de 2% após 24 h e 40 h de ensaio para o modelo A (Figura 22). Para o modelo B, a maior redução (2%) foi causada pela menor concentração de Al utilizada (Figura 2). O maior efeito da força iônica foi observado sobre o incremento de vazão dos gotejadores.

A força iônica proporcionada pelo Na resultou maior incremento de vazão em relação a força iônica proporcionada pelos demais íons analisados. Esse fenômeno foi mais expressivo no modelo A, com incremento de vazão de 4%, 5%, 5%, 4% e 2%, para os tempos de ensaios de 8 h, 16 h, 24 h, 32 h e 40 h, respectivamente. O modelo B, embora menos expressivo, também apresentou incremento de vazão, com valores máximos de 3% às 16 h e 32 h, respectivamente. Para o modelo A, de forma geral, não houve diferença estatística entre as forças iônicas proporcionadas por diferentes íons nos respectivos tempos de ensaio, com exceção para o tempo de 24 h que apresentou diferença entre a força iônica proporcionada pelo Na e a força iônica proporcionada pela água (Figura 2). No modelo B, a diferença estatística observada ocorreu entre a força iônica proporcionada pelo Na e a força iônica proporcionada pelo Al com a menor concentração utilizada (8 h, 16 h e 24 h de ensaio, respectivamente). Às 32 h de ensaio a diferença observado ocorreu entre a força iônica proporcionada pela água e a força iônica proporcionada pelo Na. Após 40 h de ensaio, não houve diferença estatística entre as forças iônicas (Figura 3).

A montmorilonita apresentou desempenho diferente, quando comparada com a caulinita. Considerando o modelo A de gotejador, os maiores incrementos de vazão foram observados quando a força iônica foi proporcionada pela maior concentração de Al, com máximo incremento de 4% observado após 24 h de ensaio. De forma geral, não houve diferença estatística entre as vazões relativas proporcionadas por diferentes forças iônicas, com exceção após 40 h de ensaio, em que a força iônica proporcionada pelo Na resultou redução de vazão de 15%, enquanto que os demais tratamentos foram estatisticamente semelhantes (Figura 4).

O modelo B de gotejador praticamente não apresentou aumento de vazão, com incremento de apenas 1% quando se utilizou força iônica proporcionada pelo Ca e pela água, ambos às 8 h e 32 h de ensaio. Estatisticamente, todos os tratamentos foram iguais até 32 h de ensaio. Posteriormente, observou-se redução de 13% de vazão no tratamento em que a força iônica foi proporcionada pelo Na. Os demais tratamentos foram semelhantes entre si e diferiram do tratamento em que força iônica foi proporcionada pelo Na (Figura 5).

A força iônica da solução apresentou comportamentos opostos para os dois tipos de argila analisados. De forma geral, enquanto que para caulinita proporcionou incremento de vazão, para montmorilonita causou redução de vazão. As partículas de caulinita apresentam maior massa específica ($2419,9 \text{ kg m}^{-3}$) e diâmetro de partícula ($2,651 \text{ }\mu\text{m}$), quando comparado com as de montmorilonita ($2364,2 \text{ kg m}^{-3}$ e $2,296 \text{ }\mu\text{m}$, respectivamente). Possivelmente, a força iônica proporcionada pelo Na provocou a formação de agregados estáveis, com incremento de diâmetro. Assim, houve maior deposição de partículas nas regiões de baixa velocidade, principalmente onde existe menor energia cinética turbulenta e intensidade de turbulência (regiões de vórtices e estagnação). Com o incremento da deposição de partículas nas regiões de vórtices e estagnação, ocorre redução do efeito do vórtice sobre o escoamento, resultando aumento da velocidade na região do fluxo principal e, conseqüentemente, aumento da vazão dos emissores.

O incremento de vazão em pesquisas de obstrução de gotejadores também foi observado utilizando o íon Na associado com partículas de montmorilonita (BOUNOUA et al., 2016); na análise do desempenho de gotejadores submetidos a diferentes condições formadoras de biofilme (GAMRI et al., 2014); e, na análise de obstrução causada por água residuária submetida a diferentes níveis de filtragem (RAVINA et al., 1992). Não obstante, este fenômeno é mais comum quando ocorre a utilização de gotejadores autocompensantes durante os ensaios (PINTO et al., 2017).

CONCLUSÕES

A força iônica da solução e natureza dos materiais de argila apresentaram efeito sobre o desempenho dos gotejadores. Enquanto que a caulinita em solução salina de sódio, proporcionou máximo incremento de vazão de 5%, a montmorilonita causou redução máxima de vazão de 15%. As forças iônicas proporcionadas pelos íons cálcio, alumínio e sem adição de íon não apresentaram efeito expressivo sobre o desempenho dos gotejadores, tanto para caulinita quanto para montmorilonita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-MUHAMMAD, J.; TOMAS, S.; ANSELMET, F. Modeling a weak turbulent flow in a narrow and wavy channel: case of micro-irrigation. **Irrigation Science**, v.34, n.5, p. 361–377, 2016.
- BOUNOUA, S.; TOMAS, S.; LABILLE, J.; MOLLE, B.; GRANIER, J.; HALDENWANG, P.; IZZATI, S.N. Understanding physical clogging in drip irrigation: in situ, in-lab and numerical approaches. **Irrigation Science**, v.34, n.4, p.327–342, 2016.
- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, v.2, n.2, p.149–162, 1979.
- CAMARGO, A. P.; MOLLE, B.; TOMAS, S.; FRIZZONE, J. A. Assessment of clogging effects on lateral hydraulics: proposing a monitoring and detection protocol. **Irrigation Science**, v.32, n.3, p.181–191, 2013.
- GAMRI, S.; SORIC, A.; TOMAS, S.; MOLLE, B.; ROCHE, N. Biofilm development in micro-irrigation emitters for wastewater reuse. **Irrigation Science**, v.32, n.1, p. 77–85, 2014.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, v.12, n.4, p.187–192, 1991.
- NIU, W.; LIU, L.; CHEN, X. Influence of fine particle size and concentration on the clogging of labyrinth emitters. **Irrigation Science**, v.31, n.4, p.545–555, 2013.
- PINTO, M.F.; MOLLE, B.; ALVES, D.G.; AIT-MOUHEB, N.; CAMARGO, A.P.; FRIZZONE, J. A. Flow rate dynamics of pressure-compensating drippers under clogging effect. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.5, p.304–309, 2017.
- RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, v.13, n.3, p.129–139, 1992.
- ZHANG, M.; LIU, Q.; LIU, J. Extended DLVO theory applied to coal slime-water suspensions. **Journal of Central South University**, v. 9, n.12, p.3558–3563, 2012.
- ZHOU, B.; LI, Y.; LIU, Y.; XU, F.; PEI, Y.; WANG, Z. Effect of drip irrigation frequency on emitter clogging using reclaimed water. **Irrigation Science**, v.33, n.3, p.221–234, 2015.

ZHOU, B.; LI, Y.; PEI, Y.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; JIANG, Y. Quantitative relationship between biofilms components and emitter clogging under reclaimed water drip irrigation. **Irrigation Science**, v.31, n.6, p.1251–1263, 2013.

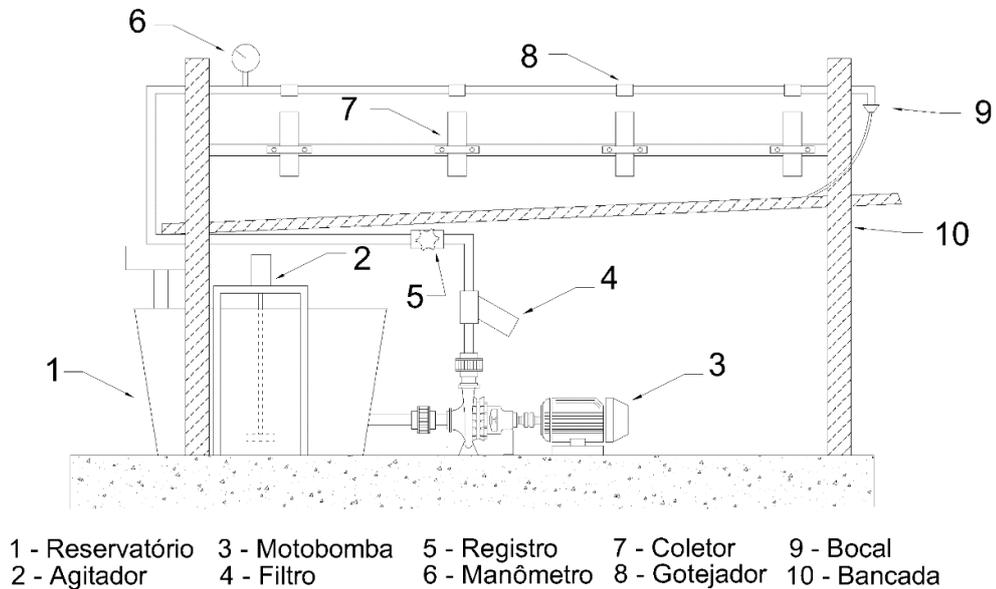


Figura 1. Bancada de ensaios para avaliação do desempenho de gotejadores

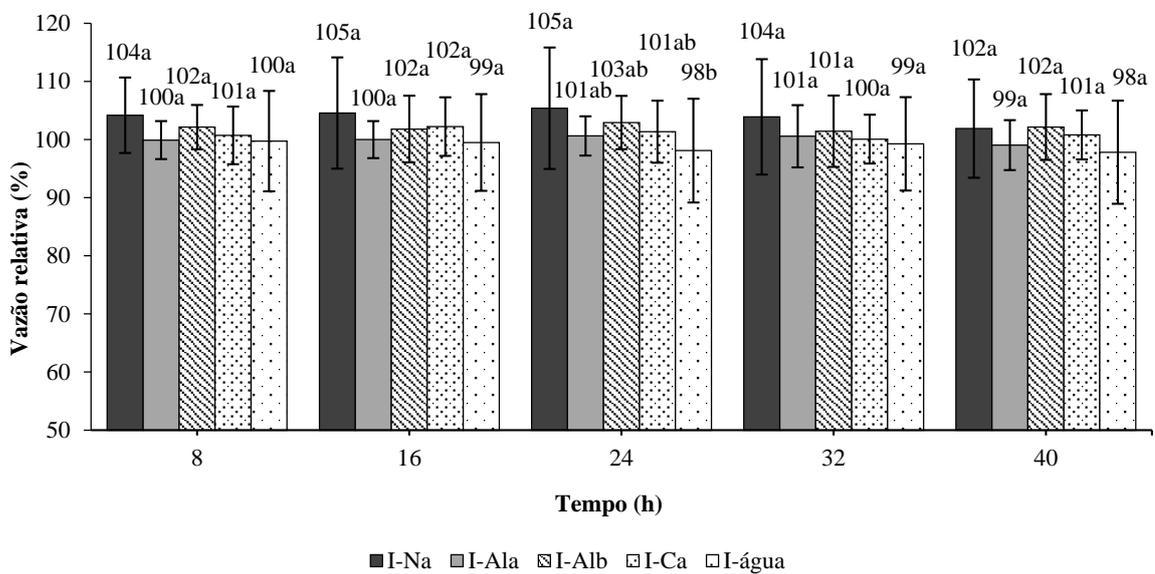


Figura 2. Efeito da força iônica (I) sobre a obstrução de gotejadores causados por partículas de caulinita (Kt) em suspensão utilizando o modelo A de gotejador ($0,6 \text{ L h}^{-1}$)

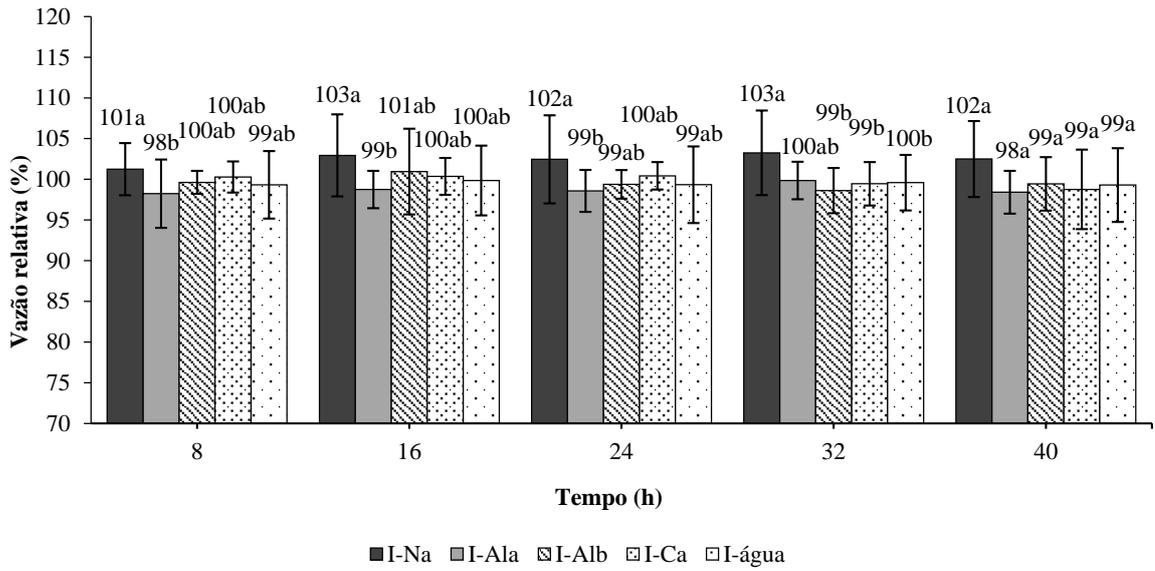


Figura 3. Efeito da força iônica (I) sobre a obstrução de gotejadores causados por partículas de caulinita (Kt) em suspensão utilizando o modelo B de gotejador ($1,7 \text{ L h}^{-1}$)

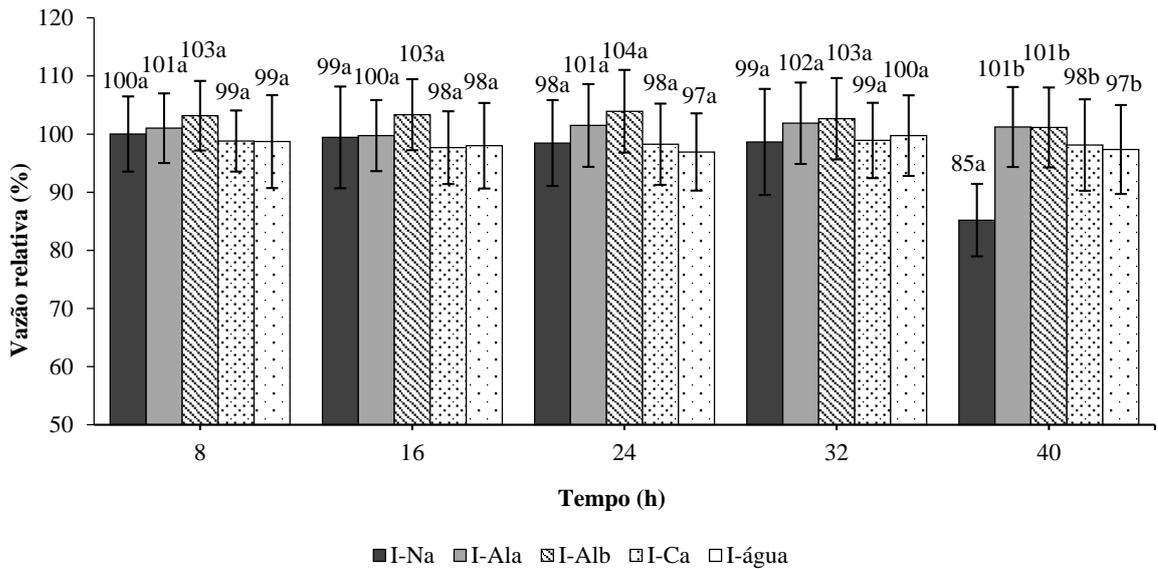


Figura 4. Efeito da força iônica (I) sobre a obstrução de gotejadores causados por partículas de montmorilonita (Mt) em suspensão utilizando o modelo A de gotejador ($0,6 \text{ L h}^{-1}$)

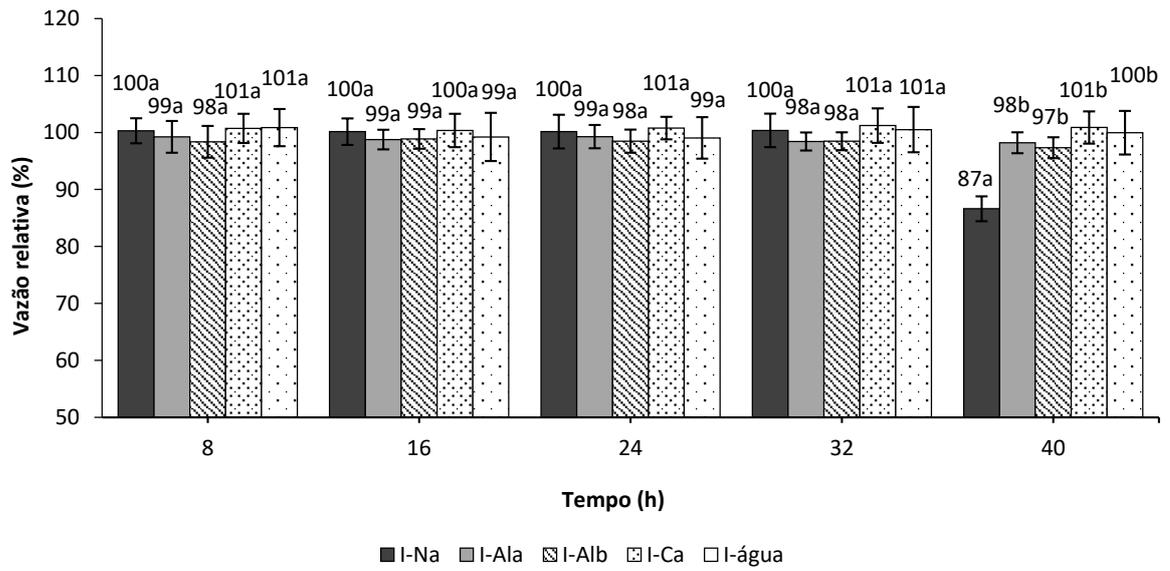


Figura 5. Efeito da força iônica (I) sobre a obstrução de gotejadores causados por partículas de montmorilonita (Mt) em suspensão utilizando o modelo B de gotejador ($1,7 \text{ L h}^{-1}$)