

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – SETOR PALOTINA

ALEF SEGALLA DE SOUZA

**ARRASTE DE COBRE E ZINCO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ORIUNDO DE SOLO COM APLICAÇÃO DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL**



PALOTINA

2016

ALEF SEGALLA DE SOUZA

**ARRASTE DE COBRE E ZINCO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ORIUNDO DE  
SOLO COM APLICAÇÃO DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, Curso de Agronomia no Setor Palotina da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jonathan Dieter

PALOTINA

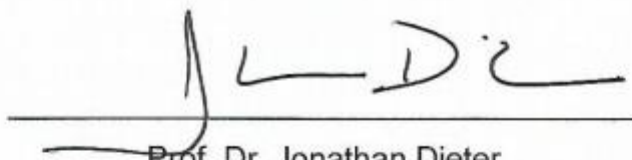
2016

## TERMO DE APROVAÇÃO

ALEF SEGALLA DE SOUZA

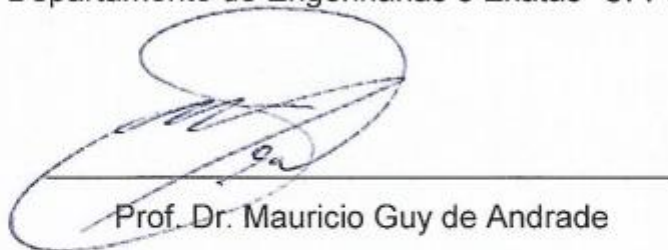
ARRASTE DE COBRE E ZINCO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ORIUNDO DE SOLO COM APLICAÇÃO DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, Curso de Agronomia no Setor Palotina da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



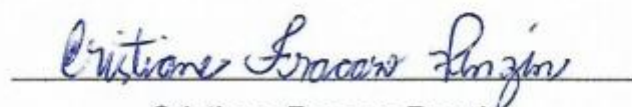
Prof. Dr. Jonathan Dieter

Orientador – Departamento de Engenharias e Exatas- UFPR Setor Palotina



Prof. Dr. Mauricio Guy de Andrade

Departamento de Engenharias e Exatas - UFPR Setor Palotina



Cristiane Fracaro Penzin

Engenheira Ambiental

Palotina, 08 de julho 2016

*À minha família, por sua capacidade de acreditar e investirem mim. Mãe, seu cuidado e dedicação deram em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, por minha vida, família e amigos e também por permitir que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

A Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina pelo ambiente criativo e amigável que proporciona, pela oportunidade de fazer o curso, por seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Agradeço ao CNPq pelo aporte financeiro para realização desse estudo.

Agradeço a UNIOESTE pela disponibilização dos laboratórios para as análises físico-químicas e estatísticas.

Agradeço ao meu orientador, amigo e professor Jhony boy (rsrs) pelo incentivo, ensinamento e conhecimento transmitido a mim durante toda a graduação em momentos lecionando ou fora do ambiente acadêmico.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto o que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Agradeço a minha mãe Rosimere Segalla de Souza, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai Audinei Leonidas de Souza que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim foi muito importante.

Obrigado! Primos, tias e tios, avô, avós e familiares pela contribuição valiosa em minha formação pessoal e profissional.

Meus agradecimentos aos amigos Lucas Valérius, Alex Soratto, João Carlos de Souza, Marlon Lucas, Claudinei Capelle, Allan Iran Hoppe, Laura Feuser Acco e Samara Moreira Perissato, companheiros de turma, trabalhos e irmãos na amizade, que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Aos amigos que a vida me proporcionou conhecer e que de certa forma me influenciaram em momentos importantes: Bruno Michellon, Renan Michellon, João Carlos Tamioso, Murilo Henrique Machado Chaves, Ana Paula Leary Pereira, Jéssica Tozatti, Diego Luan Squissatto, Allan Roman, Jeferson André, Lucas Spécia, Tácio Falconi, Jaime Trentin Junior, Marco Zonta, Giovane Pedroso e Wanderley Cordeiro.

## RESUMO

A aplicação de água residuária da suinocultura (ARS) em solos sob plantio direto pode resultar no aumento dos teores de metais pesados ( $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$ ) em suas camadas superficiais, a fim de quantificar o risco de transferência desses metais pesados para o meio aquático via escoamento superficial. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes quantidades de ARS (0, 75, 150, 225 e  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), adubação mineral (ADM) (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), intensidade de chuva simulada ( $I_p$ ) (45, 60, 75, 90 e  $105 \text{ mm h}^{-1}$ ) e declividades ( $i$ ) (4, 9, 14, 19 e 24%) sob o transporte de  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  no escoamento superficial logo após aplicação das adubações e semeadura. O estudo foi conduzido segundo o delineamento composto central rotacional (DCCR) em planejamento fatorial completo  $2^4$ , com pontos axiais. Aplicou-se as doses de adubações nas parcelas de solo, em diferentes  $i$ , seguido de simulação da  $I_p$ . Após o início do escoamento superficial, simulou-se a  $I_p$  por 72 minutos, coletando-se uma amostra da solução escoada para determinar as concentrações de  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$ . Pode-se observar que a concentração de  $\text{Cu}^{+2}$  foi influenciada positivamente na ordem de  $\text{ARS} > i > I_p$  e para  $\text{Zn}^{+2}$  foi influenciada positivamente apenas  $\text{ARS} > i$ . O modelo de regressão linear múltiplo ajustado para concentração de  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  demonstrou que a ARS tem poder de potencializar a transferência dos metais pesados no escoamento superficial. Em consequência disto pode-se observar o potencial que a aplicação de ARS tem em contaminar águas superficiais com metais pesados.

Palavras-chave: Poluição difusa. Metais pesados. Suinocultura. Adubação orgânica.

## ABSTRACT

The application of wastewater from swine (ARS) in soils under tillage may result in increased levels of heavy metals ( $\text{Cu}^{+2}$  and  $\text{Zn}^{+2}$ ) in its outer layers in order to quantify the risk of transfer of heavy metals the aquatic environment through runoff. The objective was to evaluate the influence of different amounts of ARS (0, 75, 150, 225 and  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), mineral fertilizer (ADM) (0%, 25%, 50%, 75% and 100%), simulated rainfall intensity ( $I_p$ ) (45, 60, 75, 90 and  $105 \text{ mm h}^{-1}$ ) and slope ( $i$ ) (4, 9, 14, 19 and 24%) in the transport of  $\text{Cu}^{+2}$  and  $\text{Zn}^{+2}$  in runoff after application of fertilizers and sowing. The study was conducted according to the central composite rotational design (CCRD) in full factorial design  $2^4$  with axial points. Applied to the doses of fertilizers in the soil plots in different  $i$ , followed by simulation  $I_p$ . After the start of the runoff was simulated to  $I_p$  for 72 minutes, collecting a sample of the solution leaked to determine the concentrations of  $\text{Cu}^{+2}$  and  $\text{Zn}^{+2}$ . It can be seen that the concentration of  $\text{Cu}^{+2}$  was positively influenced in order  $\text{ARS} > i > I_p$  and  $\text{Zn}^{+2}$  was positively influenced only  $\text{ARS} > i$ . The multiple linear regression model adjusted for concentration of  $\text{Cu}^{+2}$  and  $\text{Zn}^{+2}$  showed that the ARS has the power to enhance the transfer of heavy metals in the runoff. The result of this can be seen the potential that the application of ARS has to contaminate surface water with heavy metals

Keywords: Diffuse pollution. Heavy metals. Swine. Organic fertilization.

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| TABELA 1 – PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO.....  | 16 |
| TABELA 2 - MATRIZ DO PLANEJAMENTO DEFININDO OS NÍVEIS ESTABELECIDOS (VARIÁVEIS CODIFICADAS) E SEUS VALORES CORRESPONDENTES (VARÁVEIS REAIS) PARA OS QUATRO FATORES ESTUDADOS.....   | 17 |
| TABELA 3 - MATRIZ DO PLANEJAMENTO COMPLETO 2 <sup>4</sup> COM OS VALORES REAIS DOS FATORES INDEPENDENTES: ARS, ADM, Ip E <i>i</i> .....   | 17 |
| TABELA 4 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS) APLICADO AO SOLO.....   | 20 |
| TABELA 5 - MATRIZ DE PLANEJAMENTO 2 <sup>4</sup> COM VALORES REAIS E CODIFICADOS REFERENTE À APLICAÇÃO DE ARS, ADM, Ip E <i>i</i> , COM SEUS RESPECTIVOS RESULTADOS DE Cu <sup>+2</sup> e Zn <sup>+2</sup> (mg L <sup>-1</sup> )..... | 22 |
| TABELA 6 - ANOVA REFERENTE AO TRANSPORTE DE Cu <sup>+2</sup> JUNTO À SOLUÇÃO ESCOADA DA SUPERFÍCIE.....   | 24 |
| TABELA 7 - MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR OBTIDOS PARA O TRANSPORTE DE Cu <sup>+2</sup> NA SOLUÇÃO ESCOADA NA SUPERFÍCIE DURANTE O PERÍODO APA.....  | 24 |
| TABELA 8 - ANOVA REFERENTE AO TRANSPORTE DE Zn <sup>+2</sup> JUNTO À SOLUÇÃO ESCOADA DA SUPERFÍCIE.....   | 30 |
| TABELA 9 - MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR OBTIDOS PARA O TRANSPORTE DE Zn <sup>+2</sup> NA SOLUÇÃO ESCOADA NA SUPERFÍCIE DURANTE O PERÍODO APA.....  | 31 |

## LISTA DE FIGURA

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 - LISÍMETRO DE DRENAGEM SUSPENSO COM COLETA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E LIXIVIADO. (a) ÁREA ÚTIL DE EXPERIMENTAÇÃO; (b) COLETOR DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO EM “a”; (c) LOCAL DE COLETA DO LIXIAVIDO; (d) SISTEMA DE INCLINAÇÃO DO SOLO..... | 19 |
|--|----|

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| GRÁFICO 1 - GRÁFICO DE PARETO AO NIVEL DE SIGNIFICÂNCIA (5%) DOS FATORES ENVOLVIDOS NA CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{+2}$ NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL..... | 23 |
| GRÁFICO 2 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE $\text{Cu}^{+2}$ PARA ARS E $I_p$ .....   | 25 |
| GRÁFICO 3 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE $\text{Cu}^{+2}$ PARA ARS E $i$ .....   | 26 |
| GRÁFICO 4 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE $\text{Cu}^{+2}$ PARA $I_p$ E $i$ .....   | 27 |
| GRÁFICO 5 - ESTIMATIA DOS EFEITOS LINEARES PARA $\text{Cu}^{+2}$ .....   | 28 |
| GRÁFICO 6 - GRÁFICO DE PARETO AO NIVEL DE SIGNIFICÂNCIA (5%) DOS FATORES ENVOLVIDOS NA CONCENTRAÇÃO DE $\text{Zn}^{+2}$ NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL..... | 30 |
| GRÁFICO 7 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE $\text{Zn}^{+2}$ PARA ARS E $i$ .....   | 31 |
| GRÁFICO 8 - ESTIMATIA DOS EFEITOS LINEARES PARA $\text{Zn}^{+2}$ .....   | 32 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO REFERENCIADA</b> .....          | 12 |
| <b>2 OBJETIVO</b> .....                         | 15 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....                        | 15 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                  | 15 |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....                      | 16 |
| 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....   | 16 |
| 3.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....              | 16 |
| 3.3 IMPLANTAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....   | 18 |
| 3.4 REALIZAÇÃO E COLETA DE DADOS.....           | 20 |
| 3.5 MÉTODO ANÁLITICO .....                      | 21 |
| 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....                    | 21 |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSÃO</b> .....            | 22 |
| 4.1 COBRE .....                                 | 23 |
| 4.1.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS..... | 23 |
| 4.1.2 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.....    | 24 |
| 4.1.3 ANÁLISE DOS EFEITOS LINEARES.....         | 28 |
| 4.1.3 LEGISLAÇÃO .....                          | 29 |
| 4.2 ZINCO.....                                  | 29 |
| 4.2.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS..... | 29 |
| 4.2.2 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.....    | 31 |
| 4.2.3 ANÁLISE DOS EFEITOS LINEARES.....         | 32 |
| 4.2.4 LEGISLAÇÃO .....                          | 33 |
| <b>5 CONCLUSÃO</b> .....                        | 34 |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....       | 35 |

## 1 INTRODUÇÃO REFERENCIADA

A suinocultura no Brasil, e principalmente no Oeste do Paraná, é uma atividade predominante em pequenas propriedades rurais, de grande importância econômica e social, servindo, especialmente, como instrumento de fixação do homem no campo (ROESLER e CESCNETO, 2004). Entretanto, quando conduzida sem os devidos cuidados com os seus efluentes, a suinocultura torna-se uma das principais atividades degradadoras do meio ambiente (DIETER, 2013).

O reuso da água residual de suinocultura é uma prática bastante difundida na agricultura, utilizada como fonte de reciclagem de nutrientes, de baixo custo e muitas vezes reutilizada dentro da própria propriedade, visando o benefício econômico, agrônômicos e ambientais. Segundo Bolzani (2012) a utilização deste tipo de efluente nos solos agrícolas é recomendável, pois aumenta consideravelmente a produtividade se manejada adequadamente, porém requer uma combinação harmoniosa de vários campos das ciências agrônômicas, como: recursos hídricos, manejo e conservação de água e solo, ciência do solo e nutrição mineral de plantas.

Smanhotto *et al.* (2010) indica que o reuso da água residuária da suinocultura, como fertilizante orgânico, possibilita que elementos químicos presentes na ARS, que estão prontamente disponíveis, ou que após a mineralização poderão ser absorvidos pelas plantas da mesma forma que os dos fertilizantes minerais.

Porém, além do seu uso benéfico na agricultura a água residuária de suinocultura contém seus malefícios se utilizada inadequadamente, segundo Gomes Filho (2001) em alguns dos seus componentes poluentes como carga orgânica elevada, nitrogênio, fósforo, cobre, sódio, etc. se apresentam em concentrações suficientemente altas para constituírem com risco de desequilíbrio ecológico.

Logo, o uso incorreto dos dejetos de suínos pode trazer efeitos negativos ao solo, como por exemplo, o entupimento dos macroporos, causando o selamento superficial que dificulta a infiltração de água e a troca de gases entre a atmosfera e o solo. Além disso, também oferece o risco de salinização e poluição do solo e plantas com metais pesados e contaminação do homem e animais por agentes patogênicos provenientes dos dejetos (MATOS *et al.*, 1997; BARROS *et al.*, 2005).

Dentre os metais pesados, o  $\text{Cu}^{+2}$  e o  $\text{Zn}^{+2}$  têm sido motivo de preocupação,

pois vêm sendo usados como suplemento dietético em rações e na formulação de antibióticos, aumentando os riscos de contaminação ambiental. Quando absorvido pelas plantas, pode entrar na cadeia alimentar humana, acumulando-se no organismo e provocando sérias enfermidades (OLIVEIRA, 1993; BARILLI, 2005).

Diante do exposto, a ARS, quando aplicada de forma inadequada, torna-se um potencial contaminante do solo e água por metais pesados ( $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$ ), devido a altas concentrações presentes nos dejetos líquidos de suínos (SMANHOTTO *et al.*, 2010).

Segundo Girotto *et al.* (2010) em solos não contaminados, o  $\text{Cu}^{+2}$  e o  $\text{Zn}^{+2}$  são retidos no solo por ligações físicas e principalmente químicas com alto grau de energia, encontrados em maiores quantidades ligados às frações orgânicas e inorgânicas.

Porém as aplicações sucessivas de dejetos tendem a causar acúmulos de  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  nas camadas superficiais do solo, induzindo a transferência por escoamento superficial, tornando os dejetos uma fonte poluidora com alto potencial de contaminação ambiental (GIROTTTO, 2007).

Segundo Embrapa (2013) além de serem considerados essenciais as plantas, o  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  podem se acumular a superfície do solo e serem perdidos na forma de escoamento superficial, sendo possível a contaminação de águas superficiais, podendo assim facilmente entrarem na cadeia alimentar através do acúmulo nas folhas e grãos de vegetais explorados para o consumo.

Os metais pesados podem estar em diferentes fases no solo como solúvel em água, trocável, ligado a óxidos, ligado a carbonatos, ligado à matéria orgânica e residual na estrutura dos minerais. Determinar a forma com que o composto se encontra no solo é importante para determinar seu potencial contaminante e de transferência (GIROTTTO, 2007).

Bosco (2008) diz que nem todo  $\text{Cu}^{+2}$  é móvel e trocável no solo, onde sua imobilidade pode ser atribuída a fortes ligações com composto como óxidos de ferro e alumínio, matéria orgânica e fósforo. O autor também comenta que a presença de uma menor concentração de  $\text{Cu}^{+2}$  em camadas mais superficiais (0-20 cm), pode estar associada as maiores concentrações de matéria orgânica, teor e tipo de argila e pH nessa superfície, ocorrendo assim a perdas no escoamento superficial do composto. Já nas camadas mais profundas a CTC (Capacidade de Troca de Cátions) é influente nesta concentração, pois é maior e capaz assim, de reter maior

quantidade de cátion  $\text{Cu}^{+2}$ .

O  $\text{Zn}^{+2}$  também apresenta baixa mobilidade no solo apresentando concentrações mais elevadas nas camadas superiores (0-20 cm). Segundo Gomes (2008) essa característica pode estar relacionada ao teor de matéria orgânica e que a ARS possui mais de um cátion em sua composição, indisponibilizando sítios de adsorção para o mesmo.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo avaliar os teores de cobre e zinco provindos do reuso de água residuária de suinocultura e adubação mineral, arrastados junto ao escoamento superficial oriundo de solo com diferentes declividades e submetido a condições de chuva simulada.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os teores de  $\text{Cu}^{+2}$  no escoamento superficial oriundo de solo com diferentes inclinações e submetido aplicação de adubação orgânica, mineral e simulação da chuva.
- Avaliar os teores de  $\text{Zn}^{+2}$  no escoamento superficial oriundo de solo com diferentes inclinações e submetido aplicação de adubação orgânica, mineral e simulação da chuva.
- Verificar perante a legislação ambiental a possível contaminação das águas superficiais por metais pesados ( $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$ ).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi realizado na Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, cuja localização geográfica situa-se a 24° 17' 36" de latitude Sul, 53° 50' 26" de longitude Oeste e 348 metros de altitude. Com clima subtropical úmido (Cfa), com precipitação média anual de 1600-1800 mm, verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo, sem estação seca definida. O município apresenta temperatura média de 21 a 22° C e a umidade relativa do ar média é de 75 a 80% (IAPAR, 2014). Segundo Embrapa (2013) o solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Eutroferico. Inicialmente, o solo foi caracterizado de 0 - 20 cm de profundidade, o qual apresentou 67,5 % de argila, 16,9 % de silte e 15,9 % de areia. Foi também realizada uma análise química do solo que apresentou as características descritas abaixo na Tabela 1.

TABELA 1 – PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO.

| Parâmetro | pH               | CE                              | MO                 | H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> :            | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | SB    | CTC    |
|-----------|------------------|---------------------------------|--------------------|---|------------------|------------------|----------------|-------|--------|
|           | H <sub>2</sub> O | μS.cm <sup>-1</sup>             | g dm <sup>-1</sup> | -----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                  |                  |                |       |        |
| Média*    | 5.875            | 307                             | 23.5               | 38  | 56.2             | 15               | 3.1            | 74.8  | 112.8  |
| DP        | ±0.18<br>g       | ±42.7                           | ±3.7               | ±4.7  | ±14.6            | ±4.1             | ±0.9           | ±18.7 | ±15.97 |
| Parâmetro | V                | Mn <sup>+2</sup>                | Cu <sup>+2</sup>   | Fe <sup>+2</sup>                              | Zn <sup>+2</sup> | B                | N              | P     | S      |
|           | %                | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |                    |   |                  |                  |                |       |        |
| Média*    | 65               | 127                             | 9.35               | 23  | 6.1              | 0.35             | 1505           | 55.3  | 4.5    |
| DP        | ±8.3             | ±5.9                            | ±1.1               | ±3.3  | ±1.2             | ±0.03            | ±265           | ±15.2 | ±1.732 |

Protocolos de EMBRAPA (1997), TEDESCO et al. (1995) e RAIJ et al. (2001). P, K<sup>+</sup>, Cu<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup> e Mn: extrator Mehlich-1; Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>: KCl 1 M. \* médias (n=4); DP: Desvio Padrão; pH: (H<sub>2</sub>O); CE: Condutividade elétrica; M.O: Matéria Orgânica; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>: Hidrogênio+alumínio (acidez trocável); Ca<sup>2+</sup>: Cálcio; Mg<sup>2+</sup>: Magnésio; K<sup>+</sup>: Potássio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação de bases; Mn<sup>+2</sup>: Manganês; Cu<sup>+2</sup>: Cobre; Fe<sup>+2</sup>: Ferro; Zn<sup>+2</sup>: Zinco; B: Borro N: Nitrogênio total; P: Fósforo; S: Enxofre;

#### 3.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido sob o delineamento composto central rotacional (DCCR) (HAALAND, 1989), em um planejamento fatorial completo 2<sup>4</sup>, com pontos axiais ( $\alpha = (2^n)^{1/4}$ ), foi utilizado para o estudo da influência dos fatores: água residuária da suinocultura (ARS), adubação mineral (ADM), intensidade de

precipitação simulada ( $I_p$ ) e declividade do solo ( $i$ ), sobre a transferência de  $Cu^{+2}$  e  $Zn^{+2}$  junto a solução escoada na superfície.

Na Tabela 2 encontra-se a matriz do planejamento com os níveis adotados e na Tabela 3 a matriz do planejamento completo  $2^4$ , com os valores dos fatores independentes dos 28 realizados.

TABELA 2 - MATRIZ DO PLANEJAMENTO DEFININDO OS NÍVEIS ESTABELECIDOS (VARIÁVEIS CODIFICADAS) E SEUS VALORES CORRESPONDENTES (VARÁVEIS REAIS) PARA OS QUATRO FATORES ESTUDADOS.

| Fatores               | Níveis          |    |     |     |                 |
|-----------------------|-----------------|----|-----|-----|-----------------|
|                       | -2 ( $\alpha$ ) | -1 | 0   | 1   | +2 ( $\alpha$ ) |
| ARS ( $m^3 ha^{-1}$ ) | 0               | 75 | 150 | 225 | 300             |
| ADM (%)               | 0               | 25 | 50  | 75  | 100             |
| $I_p$ ( $mm h^{-1}$ ) | 45              | 60 | 75  | 90  | 105             |
| $i$ (%)               | 4               | 9  | 14  | 19  | 24              |

( $\alpha$ ): Pontos axiais calculado por  $\alpha = (2^n)^{1/4}$ , com  $n=4$ .

TABELA 3 - MATRIZ DO PLANEJAMENTO COMPLETO  $2^4$  COM OS VALORES REAIS DOS FATORES INDEPENDENTES: ARS, ADM,  $I_p$  E  $i$ .

| ENSAIOS         | continua                             |                             |                      |            |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------|
|                 | ARS<br>$m^3 ha^{-1}$ (kg $ha^{-1}$ ) | ADM<br>% (kg alq. $^{-1}$ ) | $I_p$<br>$mm h^{-1}$ | $i$<br>(%) |
| 1 <sup>1</sup>  | 75 (24,15)                           | 25 (180)                    | 60                   | 9          |
| 2 <sup>1</sup>  | 225 (72,45)                          | 25 (180)                    | 60                   | 9          |
| 3 <sup>1</sup>  | 75 (24,15)                           | 75 (540)                    | 60                   | 9          |
| 4 <sup>1</sup>  | 225 (72,45)                          | 75 (540)                    | 60                   | 9          |
| 5 <sup>1</sup>  | 75 (24,15)                           | 25 (180)                    | 90                   | 9          |
| 6 <sup>1</sup>  | 225 (72,45)                          | 25 (180)                    | 90                   | 9          |
| 7 <sup>1</sup>  | 75 (24,15)                           | 75 (540)                    | 90                   | 9          |
| 8 <sup>1</sup>  | 225 (72,45)                          | 75 (540)                    | 90                   | 9          |
| 9 <sup>1</sup>  | 75 (24,15)                           | 25 (180)                    | 60                   | 19         |
| 10 <sup>1</sup> | 225 (72,45)                          | 25 (180)                    | 60                   | 19         |
| 11 <sup>1</sup> | 75 (24,15)                           | 75 (540)                    | 60                   | 19         |
| 12 <sup>1</sup> | 225 (72,45)                          | 75 (540)                    | 60                   | 19         |
| 13 <sup>1</sup> | 75 (24,15)                           | 25 (180)                    | 90                   | 19         |
| 14 <sup>1</sup> | 225 (72,45)                          | 25 (180)                    | 90                   | 19         |

TABELA 3 - MATRIZ DO PLANEJAMENTO COMPLETO 2<sup>4</sup> COM OS VALORES REAIS DOS FATORES INDEPENDENTES: ARS, ADM, Ip E *i*.

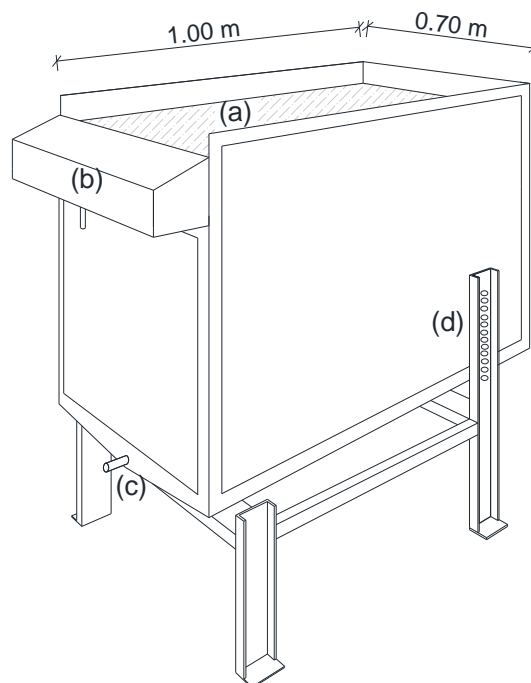
| ENSAIOS         | conclusão   |                                   |                          |                 |
|-----------------|---|-----------------------------------|--------------------------|-----------------|
|                 | ARS<br>m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> ) | ADM<br>% (kg alq. <sup>-1</sup> ) | Ip<br>mm h <sup>-1</sup> | <i>i</i><br>(%) |
| 15 <sup>1</sup> | 75 (24,15)  | 75 (540)                          | 90                       | 19              |
| 16 <sup>1</sup> | 225 (72,45)   | 75 (540)                          | 90                       | 19              |
| 17 <sup>2</sup> | 150 (48,30)   | 50 (360)                          | 75                       | 14              |
| 18 <sup>2</sup> | 150 (48,30)   | 50 (360)                          | 75                       | 14              |
| 19 <sup>2</sup> | 150 (48,30)   | 50 (360)                          | 75                       | 14              |
| 20 <sup>2</sup> | 150 (48,30)   | 50 (360)                          | 75                       | 14              |
| 21 <sup>3</sup> | 0 (0)   | 50 (360)                          | 75                       | 14              |
| 22 <sup>3</sup> | 300 (96,60)   | 50 (360)                          | 75                       | 14              |
| 23 <sup>3</sup> | 150 (48,30)   | 0 (0)                             | 75                       | 14              |
| 24 <sup>3</sup> | 150 (48,30)   | 100 (720)                         | 75                       | 14              |
| 25 <sup>3</sup> | 150 (48,30)   | 50 (360)                          | 45                       | 14              |
| 26 <sup>3</sup> | 150 (48,30)   | 50 (360)                          | 105                      | 14              |
| 27 <sup>3</sup> | 150 (48,30)   | 50 (360)                          | 75                       | 4               |
| 28 <sup>3</sup> | 150 (48,30)   | 50 (360)                          | 75                       | 24              |

<sup>1</sup>: ensaios fatoriais; <sup>2</sup>: ensaios centrais; <sup>3</sup>: ensaios axiais;

### 3.3 IMPLANTAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Para a realização do experimento, foram utilizados lisímetros de drenagem suspenso que possibilitou a coleta do escoamento superficial, a área de coleta de escoamento superficial foi de 0,7m<sup>2</sup> (0,7m x 1,0m) com declividade (*i*) variada (4, 9, 14, 19 e 24%) e sustentada por estruturas metálicas que permitiram o ajuste da declividade da superfície do solo, conforme á Figura 1.

FIGURA 1 - LISÍMETRO DE DRENAGEM SUSPENSO COM COLETA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E LIXIVIADO. (a) ÁREA ÚTIL DE EXPERIMENTAÇÃO; (b) COLETOR DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO EM “a”; (c) LOCAL DE COLETA DO LIXIAVIDO; (d) SISTEMA DE INCLINAÇÃO DO SOLO.



FONTE: Dieter (2013)

Vale ressaltar que a condução do experimento iniciou-se com a implantação da semeadura da soja (novembro/2012) sendo assim, os resultados obtidos se deram com a segunda aplicação de ARS sobre o mesmo solo durante a cultura do milho/safrinha (fevereiro/2013).

A avaliação da transferência de  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  na solução escoada aconteceu no período logo após a aplicação das adubações.

A cultura do milho foi semeada em fevereiro de 2013 sob solo coberto por uma camada de cobertura morta de soja (TMG 7161 – 13 RR), visando simular condições de campo e diminuir o atrito provocado pelas gotas.

Foi utilizado o híbrido 30A37 Hx RR da Morgam Sementes e Biotecnologia, com espaçamento de 50 centímetros entre linhas, semeadura de quatro sementes por metro linear e uma adubação de base de 720 kg por alqueire (considerado 100% do recomendado) do fertilizante mineral 10-15-15.

Foram aplicados quantidades de água residuária de suinocultura provindo da lagoa de estabilização de uma granja de terminação na quantidade conforme Tabela

3, com características físico-químicas expressas na Tabela 4, de forma manual ou com auxílio de regadores, distribuídos na superfície de cada parcela (0,7m<sup>2</sup>) no mesmo dia, tomando-se cuidado o tempo todo para que não houvesse escoamento superficial no momento da aplicação.

TABELA 4 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS) APLICADO AO SOLO.

| NOME          | UNIDADE              | [ ]  |
|---------------|----------------------|------|
| Ph            |                      | 7.7  |
| C. Elétrica   | $\mu\text{S m}^{-1}$ | 7520 |
| C. Org. Total | $\text{mg L}^{-1}$   | 1590 |
| N total       | $\text{mg L}^{-1}$   | 1147 |
| Fósforo       | $\text{mg L}^{-1}$   | 156  |
| Potássio      | $\text{mg L}^{-1}$   | 510  |
| Cálcio        | $\text{mg L}^{-1}$   | 192  |
| Magnésio      | $\text{mg L}^{-1}$   | 78   |
| Enxofre       | $\text{mg L}^{-1}$   | 59   |
| Sódio         | $\text{mg L}^{-1}$   | 560  |
| Boro          | $\text{mg L}^{-1}$   | 0.9  |
| Cobre         | $\text{mg L}^{-1}$   | 2.9  |
| Manganês      | $\text{mg L}^{-1}$   | 2.1  |
| Zinco         | $\text{mg L}^{-1}$   | 19.6 |
| Ferro         | $\text{mg L}^{-1}$   | 15.7 |

Metodologia de determinação APHA (1995).

### 3.4 REALIZAÇÃO E COLETA DE DADOS

A realização dos ensaios foram os descritos na Tabela 3 e seguiram as seguintes etapas:

- Pré-molhamento: 240 minutos antes do início da simulação da Ip, visando aumentar a umidade do solo e iniciar antes o escoamento superficial fez-se a irrigação de forma manual de 40 mm;
- Semeadura e aplicação da dose de ADM: 40 minutos antes do início da simulação da Ip,
- Aplicação da ARS: 30 minutos antes do início da simulação da Ip.
- Simulação da Ip: 30 minutos após aplicação da ARS, foi realizada mediante simulador de chuvas InfiAsper/UFMS desenvolvido por Alves Sobrinho (1997) e aperfeiçoado por Nascimento (2005) (antes de cada simulação procedia-se à

calibração do simulador). Operando a pressão de 5 Psi e previamente calibrado na lâmina desejada. Após o início do escoamento superficial a  $I_p$  foi simulada por um período total de 72 minutos, sendo retirada uma amostra final do volume total da solução escoada da superfície para a determinação do  $Cu^{+2}$  e  $Zn^{+2}$  escoado.

### 3.5 MÉTODO ANÁLITICO

As amostras de  $Cu^{+2}$  e  $Zn^{+2}$  foram expostas a um tratamento preliminar, que consistiu na digestão completa com ácido nítrico ( $HNO_3$ ) e sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) conforme metodologia descrita na NBR 13809. A determinação do teor de  $Cu^{+2}$  e  $Zn^{+2}$  foram realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica.

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a tabulação dos dados, foi realizada a análise de significância foi através do Gráfico de Pareto ao nível de 5% de significância, sobre as variáveis independentes  $Cu^{+2}$  e  $Zn^{+2}$ , determinando-se quais fatores independentes foram significativos e dessa forma utilizados no ajuste do modelo regressão linear múltipla para correlacionar os fatores independentes com as variáveis respostas. Os coeficientes significativos do modelo foram avaliados por meio do teste "F", sendo apenas considerados os modelos significativos ao nível de 5%. As estimativas dos efeitos lineares foram obtidas pelo software STATISTICA, da STATSOFTTM.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da análise laboratorial a respeito da concentração de  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  nos 28 ensaios conduzidos estão expressos na Tabela 5, com seus respectivos valores reais e codificados dos fatores independentes: água residuária de suinocultura (ARS), adubação mineral (ADM), intensidade de precipitação simulada ( $I_p$ ) e inclinação ( $i$ ).

TABELA 5 - MATRIZ DE PLANEJAMENTO  $2^4$  COM VALORES REAIS E CODIFICADOS REFERENTE À APLICAÇÃO DE ARS, ADM,  $I_p$  E  $i$ , COM SEUS RESPECTIVOS RESULTADOS DE  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

| ENSAIOS | REAIS |     |       |     | CODIFICADOS |     |       |     | Cu+2   | Zn+2 |
|---------|-------|-----|-------|-----|-------------|-----|-------|-----|--------|------|
|         | ARS   | ADM | $I_p$ | $i$ | ARS         | ADM | $I_p$ | $i$ |        |      |
| 25      | 150   | 50  | 45    | 14  | 0           | 0   | -2    | 0   | 0,028  | 0,82 |
| 1       | 75    | 25  | 60    | 9   | -1          | -1  | -1    | -1  | 0,019  | 0,18 |
| 2       | 225   | 25  | 60    | 9   | 1           | -1  | -1    | -1  | 0,027  | 0,5  |
| 3       | 75    | 75  | 60    | 9   | -1          | 1   | -1    | -1  | 0,011  | 0,21 |
| 4       | 225   | 75  | 60    | 9   | 1           | 1   | -1    | -1  | 0,018  | 0,49 |
| 9       | 75    | 25  | 60    | 19  | -1          | -1  | -1    | 1   | 0,018  | 0,52 |
| 10      | 225   | 25  | 60    | 19  | 1           | -1  | -1    | 1   | 0,030  | 0,65 |
| 11      | 75    | 75  | 60    | 19  | -1          | 1   | -1    | 1   | 0,011  | 0,30 |
| 12      | 225   | 75  | 60    | 19  | 1           | 1   | -1    | 1   | 0,033  | 0,76 |
| 18      | 150   | 50  | 75    | 14  | 0           | 0   | 0     | 0   | 0,023  | 0,64 |
| 22      | 300   | 50  | 75    | 14  | 2           | 0   | 0     | 0   | 0,048  | 1,23 |
| 19      | 150   | 50  | 75    | 14  | 0           | 0   | 0     | 0   | 0,030  | 0,86 |
| 20      | 150   | 50  | 75    | 14  | 0           | 0   | 0     | 0   | 0,036  | 0,69 |
| 27      | 150   | 50  | 75    | 4   | 0           | 0   | 0     | -2  | 0,014  | 0,31 |
| 17      | 150   | 50  | 75    | 14  | 0           | 0   | 0     | 0   | 0,022  | 0,67 |
| 21      | 0     | 50  | 75    | 14  | -2          | 0   | 0     | 0   | 0,0038 | 0,10 |
| 28      | 150   | 50  | 75    | 24  | 0           | 0   | 0     | 2   | 0,0321 | 0,6  |
| 23      | 150   | 0   | 75    | 14  | 0           | -2  | 0     | 0   | 0,038  | 0,85 |
| 24      | 150   | 100 | 75    | 14  | 0           | 2   | 0     | 0   | 0,036  | 0,76 |
| 13      | 75    | 25  | 90    | 19  | -1          | -1  | 1     | 1   | 0,020  | 0,45 |
| 14      | 225   | 25  | 90    | 19  | 1           | -1  | 1     | 1   | 0,044  | 0,73 |
| 15      | 75    | 75  | 90    | 19  | -1          | 1   | 1     | 1   | 0,022  | 0,44 |
| 16      | 225   | 75  | 90    | 19  | 1           | 1   | 1     | 1   | 0,040  | 0,79 |
| 5       | 75    | 25  | 90    | 9   | -1          | -1  | 1     | -1  | 0,020  | 0,33 |
| 6       | 225   | 25  | 90    | 9   | 1           | -1  | 1     | -1  | 0,030  | 0,55 |
| 7       | 75    | 75  | 90    | 9   | -1          | 1   | 1     | -1  | 0,022  | 0,36 |
| 8       | 225   | 75  | 90    | 9   | 1           | 1   | 1     | -1  | 0,032  | 0,75 |
| 26      | 150   | 50  | 105   | 14  | 0           | 0   | 2     | 0   | 0,032  | 0,66 |

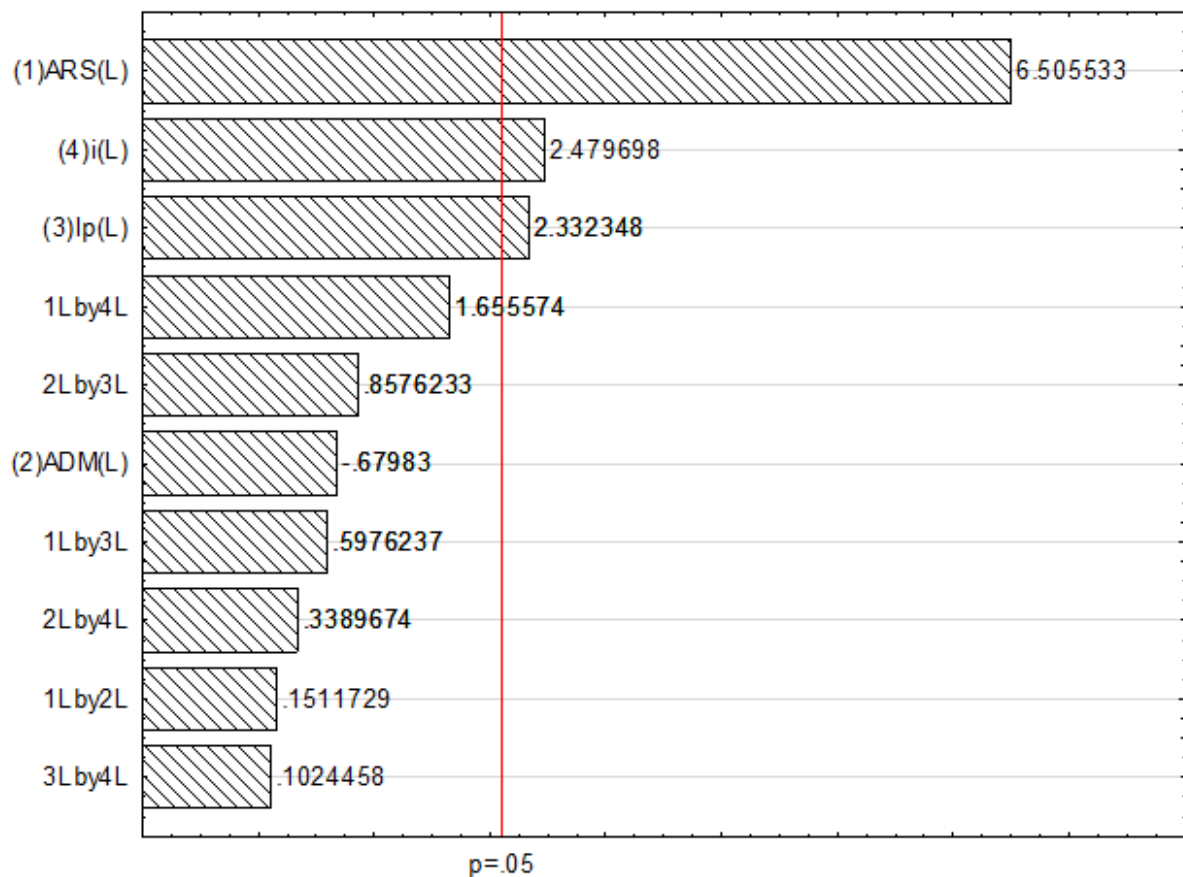
Pode-se observar dentre todos os ensaios, que o ensaio 22 (ARS= 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, ADM = 50%, Ip = 75 mm h<sup>-1</sup> e i = 14%) apresentou as concentrações mais altas tanto para Cu<sup>+2</sup> quanto para Zn<sup>+2</sup> (0,048 mg L<sup>-1</sup> e 1,23 mg L<sup>-1</sup> respectivamente). Já o ensaio 21 (ARS = 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, ADM = 50%, Ip = 75 mm h<sup>-1</sup> e i = 14%) apresentou as concentrações mais baixas, tanto para Cu<sup>+2</sup> quanto para Zn<sup>+2</sup> (0,0038 mg L<sup>-1</sup> e 0,10 mg L<sup>-1</sup> respectivamente).

## 4.1 COBRE

### 4.1.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS

Os resultados expressos para o Cu<sup>+2</sup> através do gráfico de Pareto (GRÁFICO 1) com significância de 5% demonstram que a ARS é o fator que mais expressa significância em relação aos demais fatores, seguido da inclinação e intensidade de precipitação simulada.

GRÁFICO 1 - GRÁFICO DE PARETO AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (5%) DOS FATORES ENVOLVIDOS NA CONCENTRAÇÃO DE Cu<sup>+2</sup> NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.



Apenas os fatores independentes que obtiveram resultados significativos ( $p > 0,5$ ) foram utilizados para a construção do modelo de regressão linear múltiplo. Observando assim que apenas a ARS,  $lp$  e  $i$  foram significativos. O fator ADM e demais interações não foram significativas.

Verificou-se através da análise de variância (ANOVA), que o modelo de regressão linear múltipla ajustado para transferência de  $Cu^{+2}$  na solução escoada foi significativo, como mostra a Tabela 6.

TABELA 6 - ANOVA REFERENTE AO TRANSPORTE DE  $Cu^{+2}$  JUNTO À SOLUÇÃO ESCOADA DA SUPERFÍCIE.

| FV        | GL | SQ      | QM       | Fcal  | F tab  | R <sup>2</sup> |
|-----------|----|---------|----------|-------|--------|----------------|
| Regressão | 3  | 0.0021  | 0.00070  | 20.11 | 3.01 * | 0.7154         |
| Resíduo   | 24 | 0.00084 | 0.000035 |       |        |                |
| Total     | 27 | 0.00295 |          |       |        |                |

#### 4.1.2 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

O modelo de regressão linear múltipla obtido para o transporte de  $Cu^{+2}$  na solução escoada na superfície se dá pela equação expressa na Tabela 7.

TABELA 7 - MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR OBTIDOS PARA O TRANSPORTE DE  $Cu^{+2}$  NA SOLUÇÃO ESCOADA NA SUPERFÍCIE DURANTE O PERÍODO APA.

| MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR <sup>1</sup>           | Fcal/Ftab |
|--|-----------|
| $Cu = 0,02684 + 0,0083*ARS + 0,0029*lp + 0,0031*i$ | 6,6810    |

Eq.: Equação; <sup>1</sup>: Variáveis de entrada codificadas; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; Fcal/Ftab (21.48/3.39) = 6.3362; \*: significativo pelo teste F a 5%;  $Cu^{+2}$ : mg L<sup>-1</sup>.

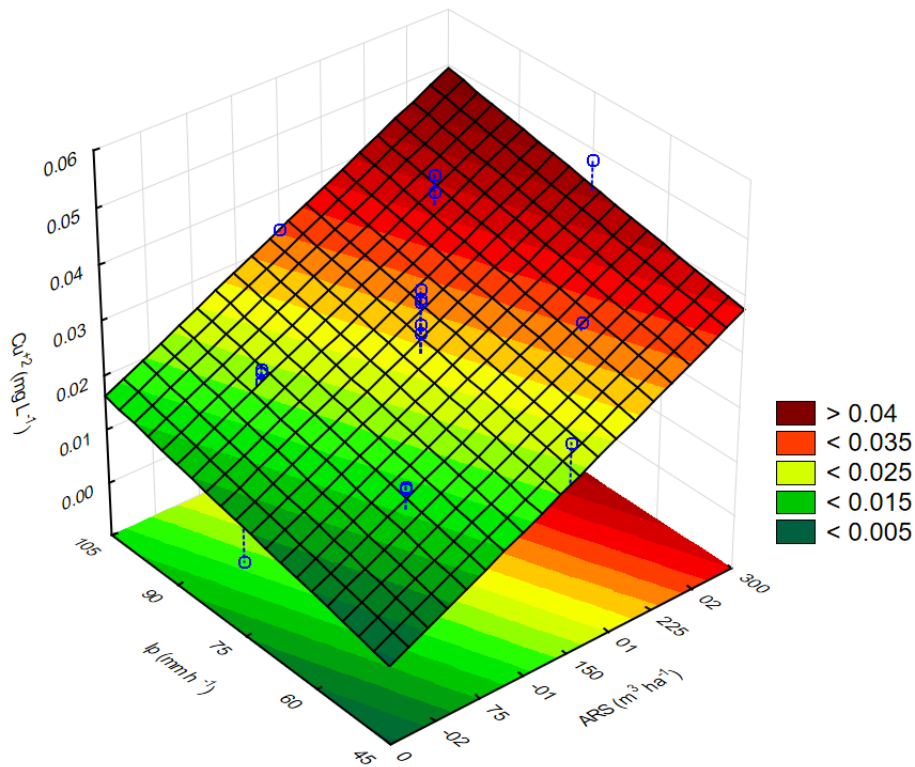
Ao analisar a equação é possível verificar-se que o coeficiente angular da ARS é 2,86 vezes maior que a intensidade de precipitação simulada ( $lp$ ) e 2,67 vezes maior para inclinação ( $i$ ). Também é possível calcular a relação entre a ( $i$ ) e ( $lp$ ) onde, apresenta um coeficiente angular de 1,06 vezes maior da  $i$  sobre  $lp$ .

O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), apresentados na Tabela 6, quantificam a qualidade dos ajustes, onde correspondem a uma medida da proporção da variação explicada pela equação de regressão em 71,54%, em relação à variação total das respostas.

A utilização do planejamento fatorial possibilita a obtenção do gráfico de superfície de resposta. Assim, é possível visualizar a superfície de resposta para os

modelos de regressão linear múltipla significativa ( $F_{cal}/F_{tab} > 1$ ). Verifica-se no Gráfico 2, Gráfico 3 e Gráfico 4 que a ARS, a  $I_p$  e a  $i$  apresentaram relação positiva com a resposta  $Cu^{+2}$ . Isso indica que o aumento das taxas de ARS,  $I_p$  e  $i$  proporcionam aumento na concentração de  $Cu^{+2}$  no escoamento superficial.

GRÁFICO 2 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE  $Cu^{+2}$  PARA ARS E  $I_p$ .

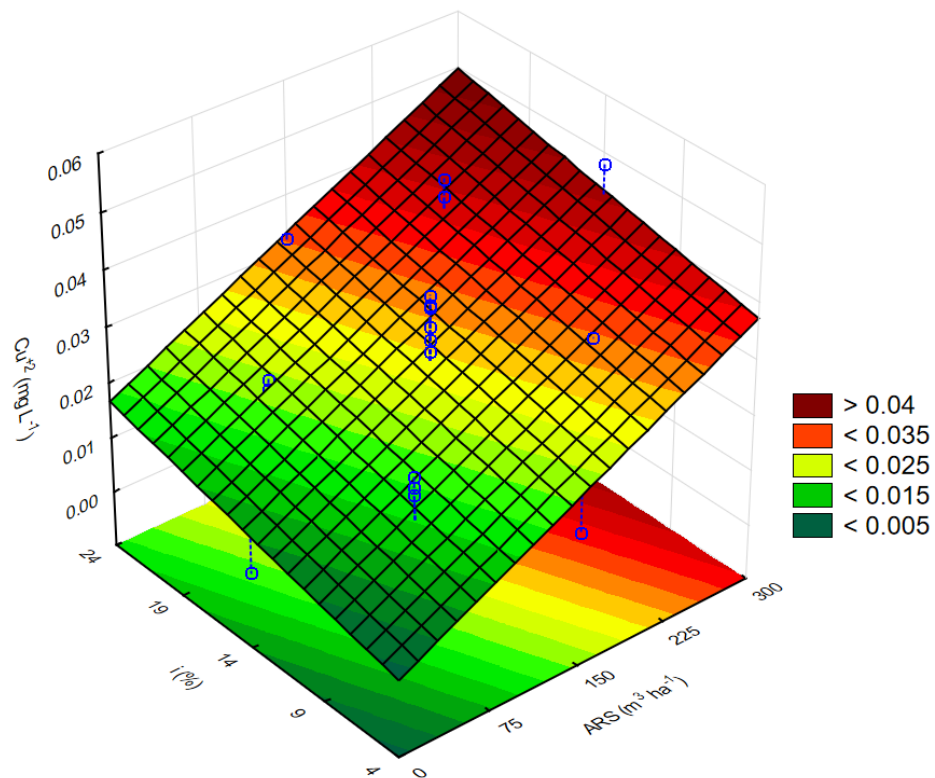


Pode-se observar no Gráfico 2 que a concentração de  $Cu^{+2}$  no escoamento superficial é significativamente proporcional a quantidade de ARS aplicada. Também é significativamente proporcional a quantidade de  $I_p$ , contudo a quantidade de ARS é 2,86 vezes mais significativa que a  $I_p$ .

Fato este que pode estar associado à ARS ser fonte independente de cobre, sendo está aplicada em cobertura. Girotto *et al.* (2010) observou em ensaio semelhante que a quantidade de cobre aumentou significativamente, chegando a 2,3 vezes maior, do que onde não foi aplicado dejetos.

Também se pode observar na Tabela 5 que o ensaio 21 obteve o menor resultado para concentração de  $Cu^{+2}$  na solução escoada ( $0,0038 \text{ mg L}^{-1}$ ), sofrendo a influência de mesma  $I_p$  que o ensaio 22, que apresentou a maior concentração de  $Cu^{+2}$  ( $0,048 \text{ mg L}^{-1}$ ), diferindo-se apenas pela quantidade de ARS aplicada.

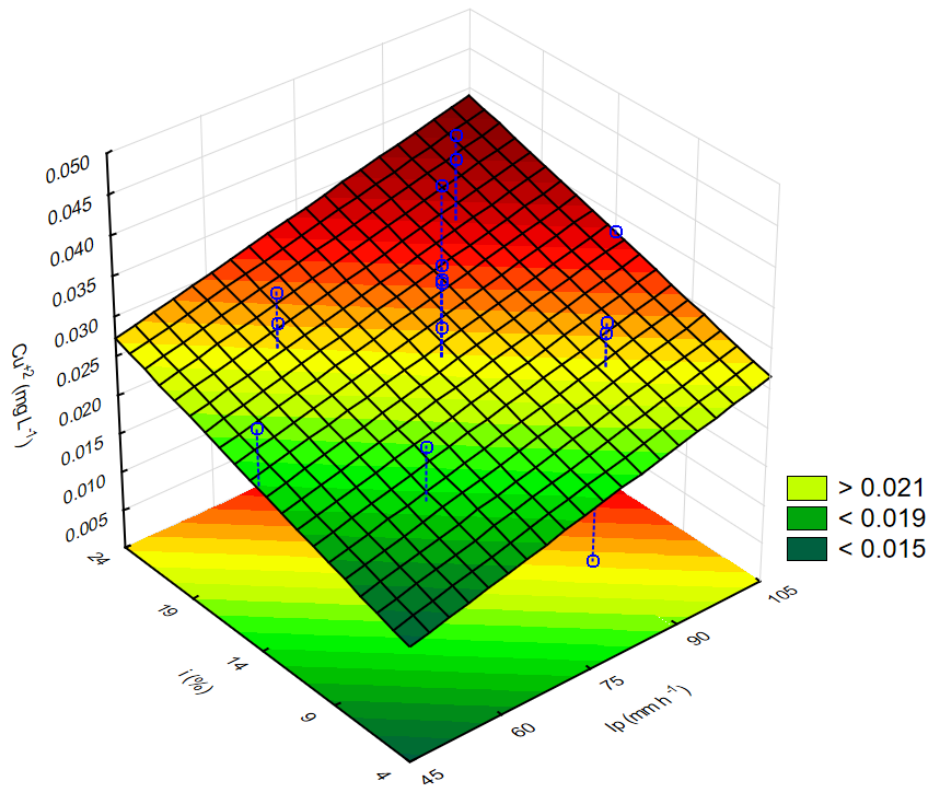
GRÁFICO 3 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE  $\text{Cu}^{+2}$  PARA ARS E  $i$ .



Pode-se observar no Gráfico 3 que a concentração de  $\text{Cu}^{+2}$  no escoamento superficial é significativamente proporcional a quantidade de ARS aplicada tanto como ao Gráfico 2. Também é significativamente proporcional a quantidade de  $i$  no aumento da concentração de  $\text{Cu}^{+2}$  no escoamento superficial, contudo a quantidade de ARS apresenta 2,67 vezes mais significância que a  $i$  devido a mesma característica descrita no Gráfico 2.

Tucci *et al.* (1997) diz que quanto maior for a inclinação da superfície do solo, maior será a aceleração do escoamento superficial e em contrapartida em declividades menores o escoamento superficial se torna mínimo.

GRÁFICO 4 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE  $\text{Cu}^{+2}$  PARA  $I_p$  E  $i$ .



No Gráfico 4 pode-se observar que a uma significativa relação entre a  $I_p$  e a  $i$ , em relação a concentração de  $\text{Cu}^{+2}$  no escoamento superficial. Contudo a  $i$  apresenta 1,06 vezes mais significância que  $I_p$ .

O fator  $i$  pode estar relacionado ao mesmo citado no Gráfico 3. Já o fator  $I_p$  pode ser relacionado no escoamento superficial se levado em consideração duas características, sendo elas duração e intensidade. Características estas que estão ligadas ao potencial de infiltração que cada solo possui e suas respectivas características físico-químicas.

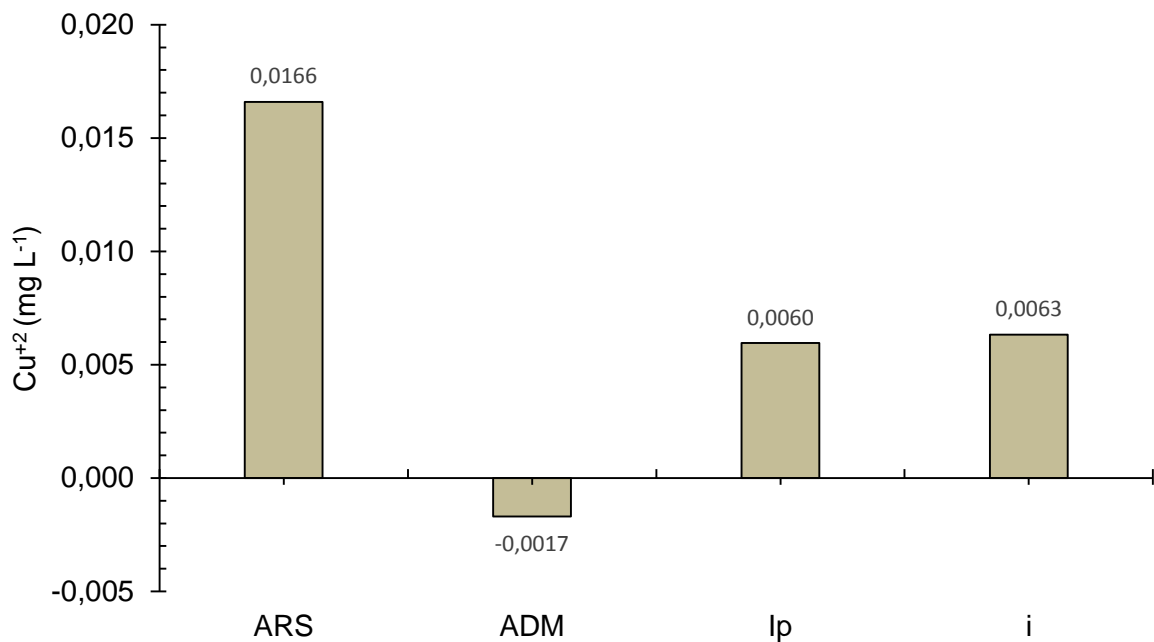
Sporh (2007) cita que quanto maior a duração da precipitação menor a capacidade de infiltração do solo, já a intensidade da precipitação está relacionada na rapidez com qual é suprida sua taxa de infiltração, ocasionando o escoamento superficial.

Os resultados obtidos nos ensaios 25 ( $0,028 \text{ mg L}^{-1}$ ) e 26 ( $0,032 \text{ mg L}^{-1}$ ), diferidos apenas pela quantidade de  $I_p$  ( $45 \text{ mm h}^{-1}$  e  $105 \text{ mm h}^{-1}$  respectivamente) demonstram que quanto maior a  $I_p$ , maior a carga e potencial de arraste de  $\text{Cu}^{+2}$  no escoamento superficial.

#### 4.1.3 ANÁLISE DOS EFEITOS LINEARES

Pode-se observar no Gráfico 5 a estimativa dos efeitos lineares dos fatores estudados ARS, ADM,  $I_p$  e  $i$ . A estimativa dos efeitos lineares é a passagem do nível -1 para o +1 do fator em análise.

GRÁFICO 5 - ESTIMATIVA DOS EFEITOS LINEARES PARA  $\text{Cu}^{+2}$ .



Para o fator ARS é possível verificar que durante a transição dos valores codificados (-1 e +1) e seus respectivos valores reais ( $75 \text{ m}^3$  e  $225 \text{ m}^3$ ) houve um efeito linear positivo (acréscimo de  $0,0166 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{+2}$ ).

Para o fator ADM é possível verificar que durante a transição dos valores codificados (-1 e +1) e seus respectivos valores reais ( $180 \text{ kg alq.}^{-1}$  e  $540 \text{ kg alq.}^{-1}$ ) houve um efeito linear negativo (decréscimo de  $0,0017 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{+2}$ ).

Para o fator  $I_p$  é possível verificar que durante a transição dos valores codificados (-1 e +1) e seus respectivos valores reais ( $60 \text{ mm h}^{-1}$  e  $90 \text{ mm h}^{-1}$ ) houve um efeito linear positivo (acréscimo de  $0,006 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{+2}$ ).

E por fim, para o fator  $i$  é possível verificar que durante a transição dos valores codificados (-1 e +1) e seus respectivos valores reais (9 % e 19%) houve um efeito linear positivo (acréscimo de  $0,0063 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{+2}$ ).

### 4.1.3 LEGISLAÇÃO

Em relação aos aspectos ambientais, a resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) estabelece que corpos d'água classe 2, possuem águas destinadas: ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho), à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, à criação natural e intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Quanto as concentrações de nutrientes, a mesma estabelece o limite de  $0,02 \text{ mg L}^{-1}$  de cobre em solução para corpos d'água classe 1 e 2. Os dados deste experimento mostraram que apenas 32% dos ensaios apresentaram concentrações abaixo ou no limite do permitido pela legislação e cerca de 68% das parcelas apresentaram concentrações acima do permitido.

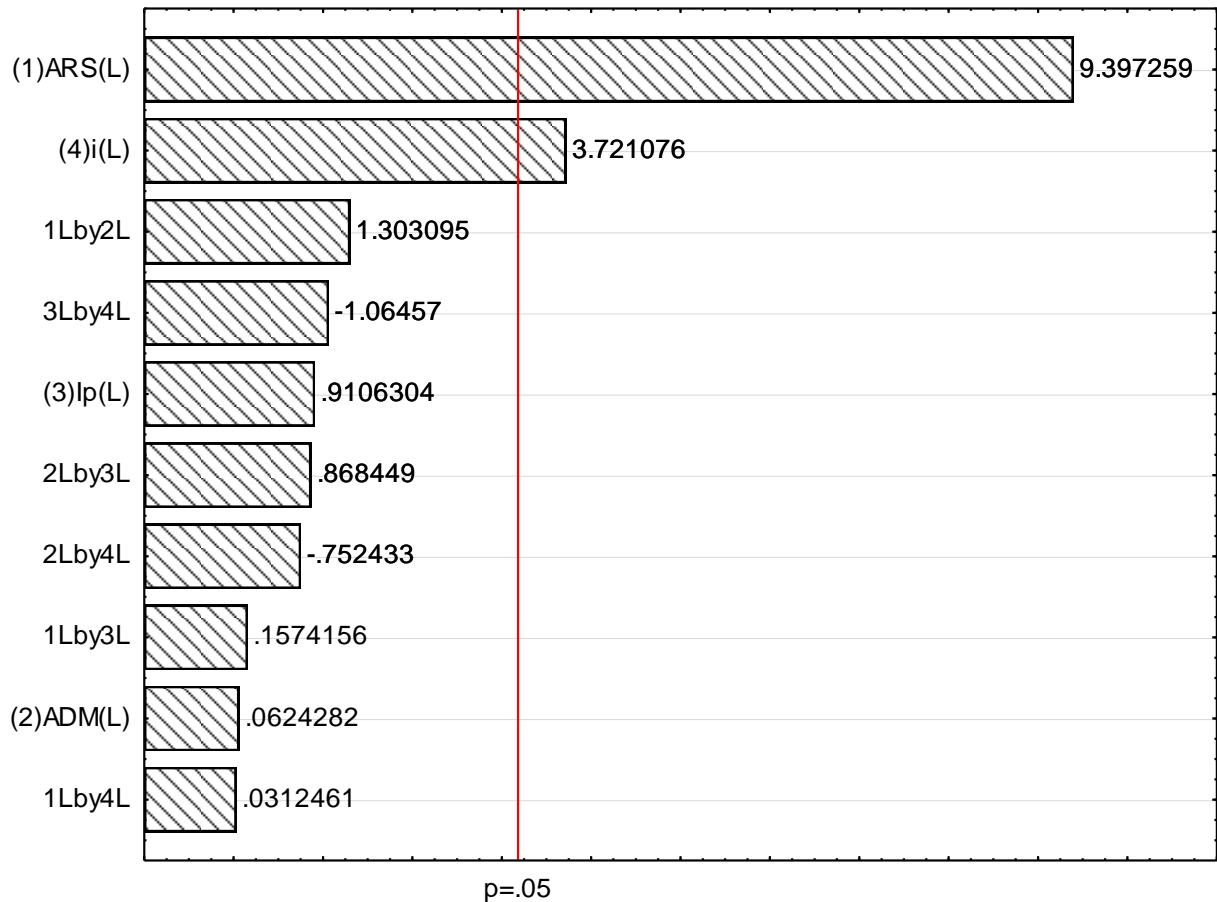
Desta maneira, pode-se constatar o potencial que as águas de escoamento superficial, provenientes de áreas com aplicação de ARS, têm em promover efeitos sobre a qualidade de águas superficiais, no que se refere à contaminação por  $\text{Cu}^{+2}$ .

## 4.2 ZINCO

### 4.2.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS

Os resultados expressos para  $\text{Zn}^{+2}$  através do Gráfico de Pareto (GRÁFICO 6) com significância de 5%, demonstra que a ARS é o fator que mais expressa significância em relação aos demais fatores, seguido da inclinação.

GRÁFICO 6 - GRÁFICO DE PARETO AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (5%) DOS FATORES ENVOLVIDOS NA CONCENTRAÇÃO DE  $Zn^{+2}$  NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.



Apenas os fatores independentes que obtiveram resultados significativos ( $p > 0,5$ ) foram utilizados para a construção do modelo de regressão linear múltiplo. Observando assim que apenas a ARS e i foram significativos.

Verificou-se através da análise de variância (ANOVA) que o modelo de regressão linear múltipla ajustado para a transferência de  $Zn^{+2}$  na solução escoada foi significativo pelo teste "F" ao nível de 5% de significância, como pode ser observado na Tabela 8.

TABELA 8 - ANOVA REFERENTE AO TRANSPORTE DE  $Zn^{+2}$  JUNTO À SOLUÇÃO ESCOADA DA SUPERFÍCIE.

| FV        | GL | SQ      | QM       | Fcal  | F tab  | R <sup>2</sup> |
|-----------|----|---------|----------|-------|--------|----------------|
| Regressão | 2  | 1.0454  | 0.52272  | 21.48 | 3.39 * | 0.6321         |
| Resíduo   | 25 | 0.60844 | 0.024337 |       |        |                |
| Total     | 27 | 1.65388 |          |       |        |                |

#### 4.2.2 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

O modelo de regressão linear obtidos para o transporte de  $Zn^{+2}$  na solução escoada na superfície durante se dá pela equação expressa na Tabela 8.

TABELA 9 - MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR OBTIDOS PARA O TRANSPORTE DE  $Zn^{+2}$  NA SOLUÇÃO ESCOADA NA SUPERFÍCIE DURANTE O PERÍODO APA.

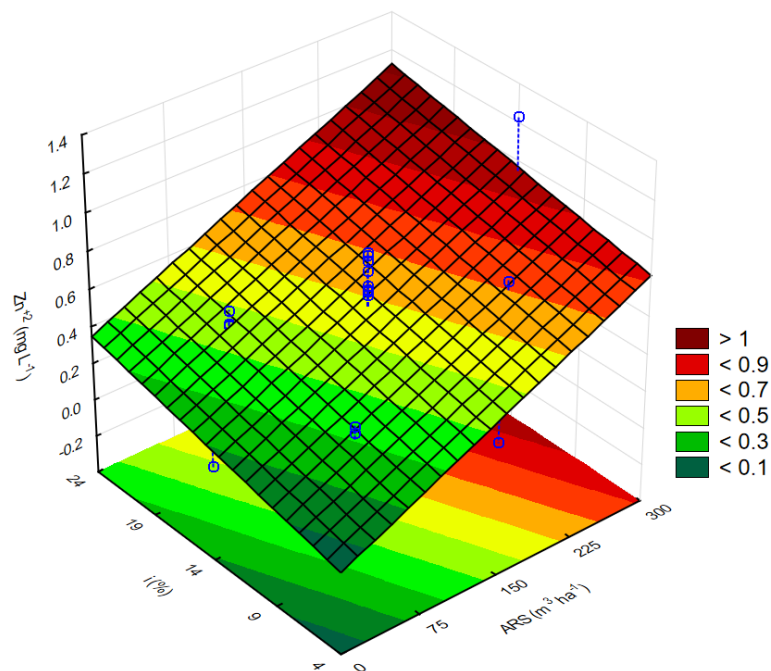
| MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR <sup>1</sup> | Fcal/Ftab |
|--|-----------|
| $Zn = 0,581 + 0,194*ARS + 0,077*i$       | 6,3362    |

Eq.: Equação; <sup>1</sup>: Variáveis de entrada codificadas;  $R^2$ : coeficiente de determinação; Fcal/Ftab (21.48/3.39) = 6.3362; \*: significativo pelo teste F a 5%;  $Zn^{+2}$ : mg L<sup>-1</sup>.

Ao analisar a equação é possível verificar-se que o coeficiente angular da ARS é 2,52 vezes maior que a inclinação ( $i$ ).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ), apresentados na Tabela 8, quantificam a qualidade dos ajustes, correspondendo a uma medida da proporção da variação explicada pela equação de regressão em 63,21%, em relação à variação total das respostas.

GRÁFICO 7 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE  $Zn^{+2}$  PARA ARS E  $i$ .



Pode-se observar no Gráfico 7 que a concentração de  $Zn^{+2}$  no escoamento superficial é significativamente proporcional a quantidade de ARS. Também é

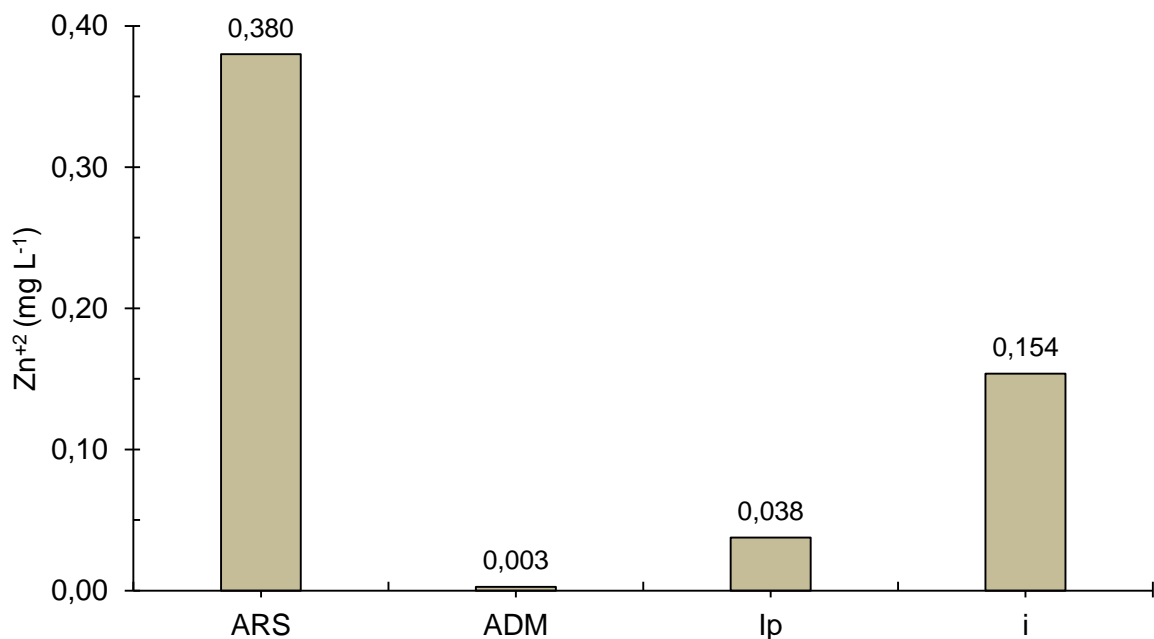
significativamente proporcional a quantidade de  $i$ , contudo a quantidade de ARS apresenta 2,52 vezes mais significância que a  $i$ .

Fato este que pode estar relacionado com a única fonte de  $Zn^{+2}$  ser provinda ARS, a qual apresenta à maior influência no escoamento superficial. Já a  $i$  pode ser relacionada à capacidade de escoamento superficial em solos com maiores inclinações como citando por (TUCCI *et al.*, 1997).

#### 4.2.3 ANÁLISE DOS EFEITOS LINEARES

Pode-se observar no Gráfico 8 a estimativa dos efeitos lineares de  $Zn^{+2}$  para ARS, ADM,  $I_p$  e  $i$ . A estimativa dos efeitos lineares é a passagem do nível -1 para o +1 do fator em análise.

GRÁFICO 8 - ESTIMATIVA DOS EFEITOS LINEARES PARA  $Zn^{+2}$ .



Para o fator ARS é possível verificar que durante a transição dos valores codificados (-1 e +1) e seus respectivos valores reais ( $75 m^3$  e  $225 m^3$ ) houve um efeito linear positivo significativo (acréscimo de  $0,380 mg L^{-1}$  de  $Zn^{+2}$ ).

Para o fator ADM é possível verificar que durante a transição dos valores codificados (-1 e +1) e seus respectivos valores reais ( $180 kg alq.^{-1}$  e  $540 kg alq.^{-1}$ ) houve um efeito linear positivo, porém insignificante (acréscimo de  $0,003 mg L^{-1}$  de

Zn<sup>+2</sup>).

Para o fator Ip é possível verificar que durante a transição dos valores codificados (-1 e +1) e seus respectivos valores reais (60 mm h<sup>-1</sup> e 90 mm h<sup>-1</sup>) houve um efeito linear positivo, porém insignificante (acréscimo de 0,038 mg L<sup>-1</sup> de Zn<sup>+2</sup>).

E por fim, para o fator i é possível verificar que durante a transição dos valores codificados (-1 e +1) e seus respectivos valores reais (9 % e 19%) houve um efeito linear positivo significativo (acréscimo de 0,154 mg L<sup>-1</sup> de Zn<sup>+2</sup>).

#### 4.2.4 LEGISLAÇÃO

Quanto as concentrações de nutrientes, a resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) estabelece o limite de 0,18 mg L<sup>-1</sup> de zinco total em solução para corpos d'água classe 1 e 2. Os dados deste experimento mostraram que apenas 10% dos ensaios apresentaram concentrações abaixo ou no limite do permitido pela legislação e cerca de 90% das parcelas apresentaram concentrações acima do permitido.

Desta maneira, pode-se constatar o potencial que as águas de escoamento superficial, provenientes de áreas com aplicação de ARS, têm em promover efeitos sobre a qualidade das águas superficiais, no que se refere à contaminação por Zn<sup>+2</sup>.

## 5 CONCLUSÃO

Com o estudo pode-se concluir que:

- A concentração de  $\text{Cu}^{+2}$  foi influenciada positivamente na ordem de  $\text{ARS} > \text{I} > \text{P}$ .
- A concentração de  $\text{Zn}^{+2}$  no escoamento superficial foi influenciada positivamente apenas  $\text{ARS} > \text{I}$ .
- Perante a legislação vigente, pode-se constatar que a aplicação de  $\text{ARS}$  ao solo tem potencial para a poluição difusa das águas superficiais.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES SOBRINHO, T. *et al.* **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil.** 1997, 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- BARILLI, J. **Atributos de um latossolo vermelho sob aplicação de resíduos de suínos.** Botucatu, SP. 2005.
- BARROS, F. M. *et al.* **Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB v. 9, p.47-51, 2005.
- BOLZANI, H. R.; OLIVEIRA, D. L. A.; LAUTENSCHLAGER, S. R. **Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura no solo e na qualidade dos seus lixiviados.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [s.l.], v. 17, n. 4, p.385-392, Rio de Janeiro, RJ. 2012.
- BOSCO, T. C. D.; SAMPAIO, S. C.; OPAZO, M. A. U.; GOMES, S. D.; NÓBREGA, L. H. P. **Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja.** Cascavel – Pr, 2008.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357/05.** Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília, SEMA, 2005.
- DIETER, J. **Transferência de fósforo por escoamento superficial devido ao reuso de água residuária de suinocultura e á adubação mineral em solo cultivado com soja em diferentes declividades e intensidades de precipitação.** 68 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3 ed. 353 p. Embrapa solos. Brasília, DF. 2013.
- GIROTTTO, E. **Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquido de suínos.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2007.
- GIROTTTO, E. *et al.* **Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 34, n. 3, p.955-965, Viçosa, MG. 2010.
- GOMES FILHO, R. *et al.* **Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 1, p.131-134. Campina

Grande, PB. 2001.

HAALAND, P.D. Experimental design in Biotechnology. New York: Marcel Dekker, 1989.

IAPAR, Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná**. Agrometeorologia. 2014.

MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M. A. N.; FREITAS, S. P.; VIDIGAL, S. M.; GARCIA, N. C. P. **Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquido de suínos**. *Revista Ceres*, Viçosa, MG, v.44, n.254, p.399-410, 1997.

NASCIMENTO, J. M. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão: INFIASPER/UFMS – Fases III e IV**. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados, 2005.

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

ROESLER, M. R. V. B.; CESCNETO, E. A. **A produção de suínos e as propostas de gestão de ativos ambientais: O caso da Região de Toledo – Paraná**. 2004.

SMANHOTTO, A.; Sousa, A. P.; Sampaio, S. S.; Nóbrega, L. H. P.; Prior, P. **Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja**. *Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.30, n. 2, p.346-357, mar/abr. 2010.

SPOHR, R. B.; **Influência das características físicas do solo nas perdas de água por escoamento superficial no sul do Brasil e Uruguai**. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Centro de ciências rurais. Santa Maria, Rio Grande do Sul 2007.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento superficial: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 2 n.1 jan/jun 1997, 135-152.