

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ELAINE SILVA DE FARIA

**FITORREMEDIAÇÃO COMO TRATAMENTO DE CHORUME
DE ATERRO SANITÁRIO**

Uberlândia - MG

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ELAINE SILVA DE FARIA

FITORREMEDIAÇÃO COMO TRATAMENTO DE CHORUME DE ATERRO SANITÁRIO

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias,
como requisito para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de
Azevedo

Uberlândia

2018

ELAINE SILVA DE FARIA

**FITORREMEDIAÇÃO COMO TRATAMENTO DE CHORUME
DE ATERRO SANITÁRIO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Ambiental.

Aprovada em ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo - Orientador

Rudmir Rogerio de Camargo Faxina – Membro da banca

Dr.^a Ana Maria Amarillo Bertone – Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais Arnaldo e Marineide, por serem a minha maior inspiração de vida e terem me proporcionado apoio e incentivo em todos os momentos e a minha família por não terem medido esforços para me auxiliar e encorajado pelas dificuldades enfrentadas.

Um agradecimento mais do que especial a todos os meus amigos que me auxiliaram nas incansáveis coletas e buscas por oportunidades. Além de terem me fornecido coragem e ânimo durante todo este percurso.

Ao meu orientador Lucas Carvalho, por ter me instigado a busca pela informação e por ter sido realmente um educador. Assim como, a professora Ana Maria que aceitou prontamente participar e auxiliar na elaboração dessa pesquisa, promovendo um novo aprendizado a ser extraído da mesma.

Agradeço a todos os técnicos e docentes que me apoiaram em cada etapa da pesquisa e me guiaram para o desenvolvimento deste trabalho, a equipe da coordenação por estar sempre presente e por proverem um imenso suporte durante todo o decorrer deste projeto.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia, por ter me proporcionado um ambiente criativo e amigável para os estudos. Particularmente, ao Instituto de Ciências Agrárias por ter fornecido toda a estrutura para o desenvolvimento do trabalho, além do Instituto de Biologia por ter sido tão acolhedor e prestativo na solução das dificuldades que ocorreram referentes a área.

Um profundo agradecimento à Prefeitura de Uberlândia por ter me instruído em relação as solicitações, à Limpebras e ao Aterro Sanitário de Uberlândia por terem me propiciado realizar as coletas e usufruir do efluente gerado pelo aterro, o que conseqüentemente promoveu vasto conhecimento e possibilitou essa pesquisa.

À FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais, por ter promovido o auxílio financeiro que possibilitou a realização desse trabalho.

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o as alterações que ocorreram com o efluente oriundo do aterro sanitário de Uberlândia submetido em leitos que continham *Leersia hexandra* Sw, e, *Hygrophila costata* ness. Os parâmetros de pH, porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, concentração de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, resistividade, sólidos totais, demanda química de oxigênio e metais pesados, foram analisados com tempos de detenção hidráulica (TDH) distintos: 3, 5 e 7 dias. Além disso, foi realizada uma modelagem matemática que interpretasse a dinâmica do fenômeno através da teoria das diferenças finitas. Para a modelagem foi utilizado o software GeoGebra que, mediante suas ferramentas de análise bivariada, permitiu gerar previsões de como seriam os valores futuros dos parâmetros, levando em consideração os valores obtidos experimentalmente. As concentrações de metais pesados presentes no efluente diluído foram ínfimos e estavam dentro dos padrões estabelecidos na Legislação. Entretanto, para a concentração de Alumínio, Bário, Cálcio, Cobalto, Crômio, Lítio, Magnésio, Chumbo, Estrôncio e Vanádio, no TDH de 3 dias, o leito contendo *Leersia hexandra* apresentou uma quantidade maior dos elementos do que os outros leitos; já a concentração de Potássio, Manganês, Rubídio e Zinco apresentaram uma maior concentração no leito com a *Hygrophila costata* e os parâmetros de Cobre e Gálio apresentaram uma maior concentração no leito que não continha nenhuma espécie (controle). A modelagem matemática demonstrou ser compatível com a experimentação, com baixo erro relativo na identificação do padrão dos dados coletados. Os resultados mostraram que a modelagem pode ser útil para previsões nos parâmetros físico-químicos de qualidade do efluente quando se utiliza leitos cultivados.

Palavras-chaves: Leitos construídos; Tratamento de efluentes; Lixiviado de aterro; Modelagem matemática; Diferenças finitas.

ABSTRACT

The present study aims to assess the modifications that occurred within the effluent from a landfill in Uberlândia when placed in the constructed wetland that contained *Leersia hexandra* Sw or *Hygrophila costata* ness. The parameters pH, percentage of saturated oxygen saturation, dissolved oxygen concentration, conductivity, resistivity, total solids, chemical demand of oxygen and heavy metals, were analyzed with different hydraulic detention times (HDT): 3, 5 and 7 days. Besides that, it was realized a mathematical modeling which could interpret the dynamic of the phenomenon through the finite difference theory. The modelling used the software GeoGebra and with its bivariate analysis tools it was possible to generate previsions for how the future values of the parameters would be, taking in consideration the values acquired experimentally. The heavy metals concentration presents in the diluted effluent were very small and were within the standards of the legislation. However, for the concentration of Aluminum, Barium, Calcium, Cobalt, Chromium, Lithium, Magnesium, Lead, Strontium and Vanadium, in the HDT of 3 days, the constructed wetland with *Leersia hexandra* exhibited a higher amount of elements than the others constructed wetlands; the concentration of Potassium, Manganese, Rubidium and Zinc show a higher concentration in the constructed wetland *Hygrophila costata* and the parameters Cobber and Gallium show a higher concentration in the constructed wetland that did not have any kind of vegetable species (control). The mathematical modelling proves to be compatible with the experimentation, with few relative errors in the identification in the standards of collected data. The results display that the modelling can be useful for predictions in the physical-chemical parameters of effluent quality when using the constructed wetland.

Keywords: Constructed Wetlands; Wastewater Treatment; Landfill Leachate; Mathematical Modeling; Finite Differences.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. MATERIAIS E MÉTODOS	15
2.1. Chorume.....	15
2.2. Diluição do chorume	16
2.3. Construção dos leitos.....	17
2.4. Operação dos leitos	21
2.5. Análises Físico-Químicas	22
2.6. Análises Estatísticas	22
2.7. Modelagem Matemática dos fenômenos observados	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1. Diluição	26
3.2. Leitos cultivados	27
3.3. Modelagem matemática	38
3.3.1. Condutividade	44
3.3.2. Porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido.....	51
3.3.3. Concentração de oxigênio dissolvido	58
3.3.4. Sólidos totais.....	65
4. CONCLUSÃO	72
5. REFERÊNCIAS	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das Estufas no Campus Umuarama e do Aterro Sanitário de Uberlândia-MG.

Figura 2 - Recipientes de 3 litros contendo as espécies *Hygrophila costata* e *Leersia hexandra* durante o teste de diluição. Cada recipiente continha uma concentração de diluição do chorume diferente.

Figura 3 - Vista lateral do leito contendo *Hygrophila costata*.

Figura 4 - Espécies *Hygrophila costata* e *Leersia hexandra* que foram utilizadas para a experimentação.

Figura 5 - Alga Characeae encontrada no leito construído.

Figura 6 - Rede de proteção sobre o leito.

Figura 7 - O ambiente do software GeoGebra e sua ferramenta de análise bivariada.

Figura 8 - O resultado da análise bivariada do pH para o tratamento com a *Leersia hexandra*: a reta de ajuste com o diagrama de dispersão dos pontos analisados.

Figura 9 - Gráfico da função $f(n)$ no plano cartesiano referente ao tratamento com *Leersia hexandra*, junto com o diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito.

Figura 10 - Análise bivariada do pH para o tratamento com a *Hygrophila costata*

Figura 11 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Hygrophila costata*.

Figura 12 - Análise bivariada da condutividade elétrica para o tratamento de controle

Figura 13 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito) referente ao tratamento controle para a condutividade elétrica.

Figura 14 - Análise bivariada da condutividade elétrica para o tratamento com *Leersia hexandra*.

Figura 15 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Leersia hexandra* para o parâmetro condutividade elétrica

Figura 16 - Análise bivariada da condutividade elétrica para o tratamento com *Hygrophila costata*.

Figura 17 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Hygrophila costata* para o parâmetro condutividade elétrica

Figura 18 - Análise bivariada para porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido com o controle.

Figura 19 – Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento controle para a porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido

Figura 20 - A análise bivariada da porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido para o tratamento com *Leersia hexandra*.

Figura 21 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para o tratamento com *Leersia hexandra* para a porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido.

Figura 22 - Análise bivariada da porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido para o tratamento com *Hygrophila costata*.

Figura 23 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para tratamento com *Hygrophila costata* para a porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido.

Figura 24 - O resultado da análise bivariada para concentração de oxigênio dissolvido para o tratamento com o controle: a reta da ajuste junto com o diagrama de dispersão dos pontos analisados.

Figura 25 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para o tratamento controle para a concentração de oxigênio dissolvido.

Figura 26 - A análise bivariada da concentração de oxigênio dissolvido para o tratamento com *Leersia hexandra*.

Figura 27 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para o tratamento com *Leersia hexandra* para a concentração de oxigênio dissolvido

Figura 28 - A análise bivariada da concentração de oxigênio dissolvido para o tratamento com *Hygrophila costata*.

Figura 29 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para o tratamento com *Hygrophila costata* para a concentração de oxigênio dissolvido

Figura 30 - Análise bivariada para sólidos totais para o tratamento com o controle

Figura 31 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com controle para sólidos totais

Figura 32 - A análise bivariada de sólidos totais para o tratamento com *Leersia hexandra*.

Figura 33 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Leersia hexandra* para sólidos totais

Figura 34 - A análise bivariada de sólidos totais para o tratamento com *Hygrophila costata*.

Figura 35 - Gráfico de $f(n)$, rdiagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Hygrophila costata* para sólidos totais

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diluições, em diferentes concentrações, do chorume oriundo do aterro sanitário.

Tabela 2 - Média da massa seca em relação a diluição do efluente das espécies de macrófita *Hygrophila costata* e *Leersia hexandra* crescidas por 12 dias. Letras diferentes maiúsculas na coluna e minúsculas na linha indicam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Tabela 3 - Análise dos parâmetros físico-químicos para cada tipo de tratamento em relação a diferença significativa entre os mesmos. Letras diferentes maiúsculas na coluna e minúsculas na linha indicam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Tabela 4 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de oxigênio dissolvido.

Tabela 5 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a condutividade elétrica.

Tabela 6 - Análise dos metais pesados para cada tipo de tratamento em relação a diferença significativa entre os mesmos. Sendo que as letras maiúsculas é a diferença significativa entre os tipos de tratamento em um determinado TDH e as letras minúsculas a diferença significativa entre os TDH em um determinado tratamento.

Tabela 7 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Bário.

Tabela 8 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Cálcio.

Tabela 9 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Cobalto.

Tabela 10 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Ferro.

Tabela 11 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (Leersia hexandra, Hygrophila costata e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Zinco.

Tabela 12 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (Leersia hexandra, Hygrophila costata e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Lítio.

Tabela 13 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (Leersia hexandra, Hygrophila costata e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Magnésio.

Tabela 14 - Dados da modelagem matemática referentes as análises de pH.

Tabela 15 - Erro cometido na modelagem do pH pelos diferentes tratamentos.

Tabela 16 - Dados referentes as análises de condutividade elétrica.

Tabela 17 - Erro cometido na modelagem da condutividade elétrica pelos diferentes tratamentos.

Tabela 18 - Dados referentes as análises de porcentagem saturação de oxigênio dissolvido.

Tabela 19 - Erro cometido na modelagem da saturação pelos diferentes tratamentos

Tabela 20 - Dados referentes as análises de concentração de oxigênio dissolvido.

Tabela 21 - Erro cometido na modelagem da concentração pelos diferentes tratamentos.

Tabela 22 - Dados referentes as análises de sólidos totais.

Tabela 23 - Erro cometido na modelagem dos sólidos pelos diferentes tratamentos

1. INTRODUÇÃO

O aumento do poder aquisitivo, somado ao aumento da população e o crescente consumo de materiais, contribuem para o rápido esgotamento dos aterros sanitários e a poluição gerada pela disposição indevida (DIAS, 2012). O manejo adequado dos resíduos é uma importante estratégia de preservação do ambiente, assim como de promoção e proteção da saúde (GOUVEIA, 2012).

O aterro sanitário é uma forma de disposição de resíduos no solo fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, garantindo um confinamento seguro em termos de poluição ambiental e proteção à saúde pública NBR10703/89. Os aterros sanitários configuram-se como sistemas biológicos predominantemente anaeróbicos, ocorrendo assim a conversão da matéria orgânica em gás metano e em líquidos percolados, também chamados de: chorume (COELHO et al, 2002). Além disso, o aterro sanitário é uma tecnologia utilizada para controle de resíduos sólidos no solo, assegurando proteção à saúde pública e ao ambiente (CALIJURI e CUNHA, 2013). Soluções práticas para melhor monitoramento dos aterros sanitários são grandes incógnitas a serem solucionadas pelos responsáveis pelo ambiente nos municípios (PLENTZ, 2014).

O tratamento adequado do lixiviado, líquido gerado pela passagem da água pela massa de resíduos em degradação anaeróbica no interior dos aterros, permanece um problema não resolvido definitivamente dentro de padrões técnico-econômicos compatíveis com as características socioeconômicas brasileiras (REICHERT, 1999).

O chorume é um líquido escuro de odor desagradável que possui uma carga elevada de sólidos orgânicos e de substâncias inorgânicas agregadas à água que percola através do aterro, bem como a que resulta da digestão da matéria orgânica pela microbiota autóctone (SANTOS, 2003). O chorume pode ser considerado como um efluente complexo que pode conter compostos orgânicos (ácidos orgânicos, substâncias húmicas, solventes, álcoois, fenóis, compostos aromáticos, pesticidas, etc), metais potencialmente tóxicos (Cd, Zn, Cu, Pb, etc) e outros íons (NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cr^{6+} , S^{2-} , HCO_3^- , etc) (CLEMENT et al., 1997). Nesse contexto, diversos fatores influenciam na composição do chorume, bem como na sua geração e deslocamento. Esse líquido que percola do aterro sanitário pode conter compostos biorefratários com uma carga e composição variável que depende das condições do tempo e operação do aterro (KARRER et al., 1996).

O impacto produzido pelo chorume sobre o ambiente está diretamente relacionado com sua fase de decomposição (SERAFIM *et al.*, 2003) . Isso pode gerar algumas desvantagens, como a geração de odores característicos, a possibilidade de exposição e riscos aos trabalhadores, a necessidade de grandes áreas criação de fontes de emissão de gases de efeito estufa e a proliferação de vetores com potenciais doenças associadas (COSTA e RIBEIRO, 2013). Tal líquido é considerado mais agressivo que o próprio esgoto doméstico, por conter altas concentrações de resíduos químicos e metais pesados (REIS, 2012).

As opções disponíveis para o tratamento de chorume são geralmente aquelas que podem ser usadas para efluentes industriais: métodos físicos, químicos e biológicos. (ZOUBOULIS *et al.*, 2003). Dentre os processos biológicos desenvolvidos para solucionar problemas de contaminação de águas subterrâneas a fitorremediação é uma tecnologia emergente que pode ser definida como a seleção e utilização de espécies de plantas para extrair, assimilar, transformar e também decompor certos contaminantes em solos, sedimentos e sistemas de aquíferos (SCHNOOR, 1995). Uma das formas de fitorremediação promissoras são os leitos construídos, esse método é utilizado no tratamento das águas e de efluentes que proveem de algum pré-tratamento, ou que foram captadas de outros sistemas de remediação (FERREIRA *et al.*, 2001; KNIGHT *et al.*, 1999; CHENG *et al.*, 2002; SEZERINO, 2006). Os impactos ambientais e os custos de implementação dos wetlands construídos são inferiores àqueles dos métodos convencionais (SALT *et al.*, 1998).

Os wetlands são utilizados para modificar a qualidade da água que é disposta nesses leitos (SALATI, 2006). Seu sistema é proposto por utilizar as macrófitas como forma de filtro biológico, e estimular microrganismos aeróbios e anaeróbios fixados no substrato e na rizosfera dessas plantas para purificar água.

Neste trabalho objetivou-se averiguar o tratamento do chorume proveniente de um aterro sanitário pela fitorremediação e propor modelos matemáticos para previsibilidade de parâmetros de qualidade do efluente tratado. Para tanto, o chorume foi caracterizado e avaliado com os parâmetros de pH, porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido, concentração de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, resistividade, sólidos totais, demanda química de oxigênio e metais pesados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Chorume

O chorume foi coletado no aterro sanitário de Uberlândia (Figura 1). A implantação do novo aterro sanitário de Uberlândia foi iniciada em meados de 2008, com início das atividades e recebimento de resíduos em outubro de 2010, em substituição ao antigo aterro, que entrou em fase de encerramento. O aterro apresenta impermeabilidade da base com geomembrana, argila adensada e resíduos de construção civil. Possui seis poços de monitoramento de águas subterrâneas, sistema de drenagem necessários e projeto de queima controlada de biogás e cogeração de energia elétrica. Além dos resíduos sólidos, domiciliares, o aterro sanitário também recebe resíduos sólidos de estabelecimentos comerciais e industriais, não domiciliares de classe II (não perigosos e inertes).

O aterro realiza o tratamento do chorume por meio de um reator anaeróbico de fluxo ascendente (RAFA) seguido por um filtro biológico. Esse conjunto de processos biológicos removem parte da carga orgânica do chorume, que é enviado para a estação de tratamento de efluentes (ETE Uberabinha). O ponto de coleta do chorume para o experimento em questão foi posterior ao filtro biológico.

Figura 1 - Localização das Estufas no Campus Umuarama e do Aterro Sanitário de Uberlândia-MG.



Fonte - Imagem do Google Maps 2018, adaptado em 14/02/2018.

2.2. Diluição do chorume

Devido à alta concentração do chorume do aterro sanitário, foi necessária a diluição do mesmo para a sua alocação nos leitos e posterior tratamento. Foram realizados testes de diluição (Tabela 1) para determinar qual a concentração adequada do efluente para evitar prejuízos aos organismos vivos dos leitos.

Tabela 1 - Diluições, em diferentes concentrações, do chorume oriundo do aterro sanitário.

Diluição	Quantidade de efluente por recipiente de 3 litros
1/5	0,6 litros
1/10	0,3 litros
1/15	0,2 litros
1/20	0,15 litros

Fonte: Dados da pesquisa.

Para cada diluição foram alocados em recipientes com suporte para até 3 litros (Figura 2), três indivíduos de cada espécie vegetal analisada e após 12 dias, as macrófitas foram retiradas do meio e foram colocadas em estufa. Após dois dias na estufa, os espécimes foram pesados.

Figura 2 - Recipientes de 3 litros contendo as espécies *Hygrophila costata* e *Leersia hexandra* durante o teste de diluição. Cada recipiente continha uma concentração de diluição do chorume diferente.



Fonte: Dados da pesquisa.

2.3. Construção dos leitos

Os leitos construídos e os tratamentos conduzidos no município de Uberlândia-MG. Os leitos foram alocados em uma área externa de um terreno pertencente a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ao ar livre, nas coordenadas geográficas 18°53'00.67" S e 48°15'25.50" O, inserida no Bioma Cerrado. O clima predominante é do tipo quente úmido (classificação de Köppen), com inverno seco e verão chuvoso, a precipitação média anual fica entre 1500 e 1600mm e a temperatura média em torno de 23°C (SILVA et al., 2003).

Foram construídos três leitos, a partir de recipientes plásticos de 50dm³, e, nestes, incorporado um sistema filtrante com canos de PVC afim de garantir a eficiência no recolhimento do efluente tratado (Figura 3). Como meio suporte para as macrófitas, foi construída uma camada com brita nº0 no fundo e sobre esta o plantio das espécies *Leersia hexandra* e *Hygrophila costata*. Também foi montado um leito sem espécies vegetais, denominado de leito controle.

Figura 3 - Vista lateral do leito contendo *Hygrophila costata*.



Fonte: Dados da pesquisa.

As espécies *H. costata* e a *L. hexandra* (Figura 4), utilizadas nos leitos foram identificadas e selecionadas em áreas naturalmente alagadas da região de Uberlândia. Os parâmetros utilizados para a seleção foram: serem macrófitas aquáticas e nativas.

Ocorreu a colheita de várias amostras de espécies em diversos locais próximos a região e estas foram então identificadas. Após esse processo, fez-se a análise se as espécies estavam de acordo com os parâmetros estabelecidos para a seleção. Com isso, entendeu-se que as espécies *H. costata* e *L. hexandra* poderiam vir a fazer parte do experimento.

Figura 4 - Espécies *Hygrophila costata* e *Leersia hexandra* que foram utilizadas para a experimentação.



Fonte: Dados da pesquisa.

Mudas das espécies com aproximadamente 25 cm foram alocadas nos leitos experimentais para adaptação, por um período de 2 meses.

Durante o experimento, constatou-se uma alga da família *Characeae* (filo *Chlorophyta* e classe *Charophyceae*) no leito que continha a *L. hexandra* (Figura 5).

Figura 5 - Alga *Characeae* encontrada no leito construído.



Fonte: Dados da pesquisa.

Em razão das intemperes climáticas e outros agentes externos, redes de proteção com tela de nylon foram instaladas sobre os leitos, afim de bloquear o acesso de animais e possíveis vetores (Figura 5).

Figura 6 - Rede de proteção sobre o leito.

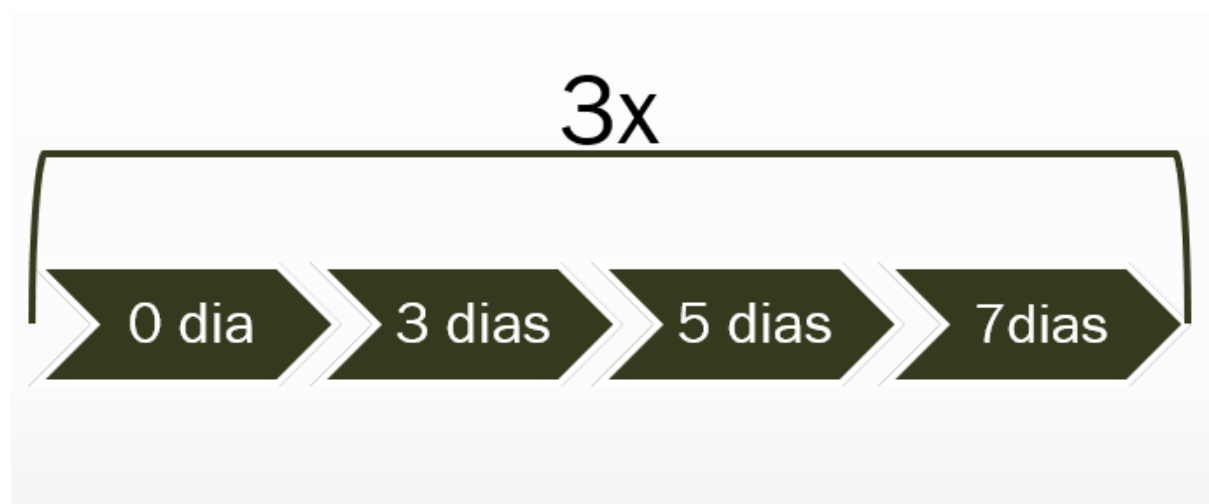


Fonte: Dados da pesquisa.

2.4. Operação dos leitos

Após a inserção do chorume diluído nos leitos, foram realizadas coletas do efluente tratado após 3, 5 e 7 dias. O processo de operação dos leitos foi repetido mais três vezes (Figura 7).

Figura 7 - Fluxograma das repetições das coletas de amostras dos efluentes.



Fonte: Dados da pesquisa.

2.5. Análises Físico-Químicas

Antes da disposição do chorume diluído e após a primeira, segunda e terceira coleta foram realizadas as análises de pH, porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, concentração de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, resistividade, sólidos totais com a utilização do multiparâmetro portátil (Hanna®, modelo HI9828). A demanda química de oxigênio foi realizada com o método colorimétrico.

Uma alíquota de cada amostra também foi armazenada após acidificação, HCl (pH < 2) para posterior análise de metais pesados: Alumínio, Bário, Cálcio, Cobalto, Crômio, Cobre, Ferro, Gálio, Potássio, Lítio, Magnésio, Manganês, Chumbo, Rubídio, Estrôncio, Vanádio e Zinco. Estes foram analisados com a utilização do ICP-OES (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente) (Agilent Technologies, modelo 5100).

2.6. Análises Estatísticas

Os resultados das análises físico-químicas foram testados às condições de aditividade, independência, normalidade e homogeneidade por meio do programa ActionStat. Posteriormente, estes dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) com parcelas subdivididas no tempo (diferentes TDH), as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knot com o programa Sisvar (FERREIRA, 2011) e os tratamentos foram considerados significativos para $p < 0,05$.

Para normalização dos dados, os valores de alumínio (Al), magnésio (Mg), manganês (Mn) foram transformados como $(x)^{0,5}$ e resistividade (Rt), bário (Ba), vanádio (V) como $\log(x)$.

Foi realizada a análise da porcentagem de variação entre o efluente de entrada (diluído) e o efluente de saída (tratado) para todos os tipos de tratamento: Controle com TDH de 3, 5 e 7 dias, *L. hexandra* com TDH de 3, 5 e 7 dias e *H. costata* com TDH de 3, 5 e 7 dias. Os resultados obtidos foram avaliados em relação aos padrões de lançamento de efluentes estabelecido pela Resolução CONAMA n°430/2011.

2.7. Modelagem Matemática dos fenômenos observados

As ferramentas matemáticas utilizadas para modelar os dados dos parâmetros físico-químicos obtidos da experimentação foram as Equações de Diferenças lineares e não lineares que, no seu formalismo, são similares às Equações Diferenciais Ordinárias. Estas equações são ligadas às relações de recorrência que se exprimem muitas vezes dos dados coletados.

Resolver equações de diferenças finitas se baseia em estabelecer uma recorrência a partir da condição inicial. Esta relação, que denotamos por $f(n)$, em que n é uma variável discreta, em geral dentro do conjunto dos números naturais, pode ser linear ou não, o que faz a tarefa de análise dos dados muitas vezes complexa. Tal como acontece nas equações diferenciais ordinárias em que a solução analítica não é sempre atingível.

Com os dados dos parâmetros físico-químicos analisados e extraídos nos diferentes tratamentos e TDH, foi realizada a análise discreta da taxa de variação, ajustando os valores obtidos por uma função, obtendo assim uma equação de diferenças que relacionou a variável independente com a resposta ou saída do sistema modelado. Esta análise supõe uma certa quantificação que permite a calibração, previsão e simulação do fenômeno. Quando o sistema depende do tempo, matematicamente é chamado de sistema dinâmico o qual depende das condições iniciais que, neste caso de estudo, corresponde à observação do primeiro dia do experimento.

Concretizando notações matemáticas, denotaremos a condição inicial como x_0 e sendo a relação de recorrência do sistema dinâmico $f(n)$, obtemos a formulação matemática do fenômeno como

$$x(n+1) = f(x(n)), \text{ com } x(0) = x_0, \quad (1)$$

em que f não depende de n , o que faz o sistema autônomo. Partindo do valor inicial x_0 , obtemos uma sequência

$$y_1 = f(x_0), y_2 = f(f(x_0)) = f^2(x_0), y_3 = f(f(f(x_0))) = f^3(x_0), \dots, y_n = f^n(x_0),$$

denominada de órbita de x_0 . Tomando $f(x) = g(x) + x$, com g uma função real, obtemos a equação de diferenças

$$y_{n+1} - y_n = g(y_n), \quad (2)$$

que representa uma relação entre a taxa de variação média em cada intervalo e tempo, neste caso e por simplicidade, tomado como unitário.

Na modelagem, a função g é determinada por um ajuste de curvas. De fato, o ajuste dos pontos $(x_n, x_{n+1} - x_n)$ fornece dois tipos funções de regressão: funções afins e funções polinomiais de grau maior que 1. Os modelos afins são resolvidos por recorrência a partir da função afim de ajuste dos dados $(x_n, x_{n+1} - x_n)$.

Um importante conceito dentro do estudo qualitativo de um sistema dinâmico discreto é o da *estabilidade*. O termo estabilidade é baseado na existência dos chamados *pontos de equilíbrio*. Um ponto y^* do domínio de f é dito ponto de equilíbrio do sistema (1) se verificar

$$f(y^*) = y^*.$$

Note que, se existir n_0 para o qual $y_{n_0} = y^*$, então

$$y_{n_0+k} = f(y_{n_0+(k-1)}) = y^*, \text{ para todo } k > 0,$$

que implica que a órbita de x_0 é constante a partir de n_0 .

No caso que f seja derivável, uma *condição necessária e suficiente* para que um ponto y^* seja de equilíbrio é que verifique a seguinte condição:

$$|f'(y^*)| < 1. \quad (3)$$

Esta condição analítica da função de iteração, será explorada para análise de estabilidade dos casos não lineares como o uso das ferramentas do software GeoGebra (HOHENWARTER, 2018), como

será mostrado na seção de resultados. Destaca-se nestes casos, o uso do aspecto computacional como ferramenta fundamental de análise qualitativo.

Nos casos de ajuste linear, é fornecida uma relação da taxa de variação como sendo

$$x_n - x_{n-1} = ax_{n-1} + b \quad (4)$$

Aplicando a fórmula da Eq. (4) para o primeiro tempo de experimentação, obtemos a Eq. (5), que relaciona o primeiro dado com o dado inicial:

$$x_1 - x_0 = ax_0 + b. \quad (5)$$

Ou, equivalentemente à Eq. (4), temos que

$$x_1 = (a + 1)x_0 + b. \quad (6)$$

Repetindo o processo para o tempo $n = 2$, concluímos da Eq. (4) e Eq. (6), a seguinte Eq. (7)

$$x_2 = (a + 1)x_1 + b = (a + 1)^2x_0 + (a + 1)b + b. \quad (7)$$

Continuando a iteração por indução matemática é obtida a Eq. (5)

$$x_{n+1} = (a + 1)^{n+1}x_0 + (a + 1)^nb + \dots + (a + 1)b + b. \quad (8)$$

A seguir, utilizando que a soma de uma progressão geométrica de razão $(a + 1)$ é igual a

$$(a + 1)^n + (a + 1)^{n-1} + \dots + (a + 1) + 1 = \frac{(a + 1)^{n+1} - 1}{a},$$

e substituindo na Eq. (8), se conclui a Eq. (9), que representa a expressão geral em qualquer instante $n + 1$

$$x_{n+1} = a^{n+1}x_0 + \frac{b(a^{n+1} - 1)}{a} = a^{n+1}\left(x_0 + \frac{b}{a}\right) - \frac{b}{a}, \quad (9)$$

que fornece a fórmula de função de predição de resultados para todo tempo n :

$$f(n) = (a + 1)^n\left(x_0 + \frac{b}{a}\right) - \frac{b}{a}. \quad (10)$$

A função f da Eq. (10) é muito importante para evitar experimentação excessiva, o que implica em tempo e despesas para os pesquisadores. A função f fornece inclusive o chamado *ponto de estabilidade no infinito*, caso existir. Este ponto de estabilidade se obtém calculando o limite de f quando n tende para infinito. Note que, para valores de

$$|a + 1| < 1 \quad (11)$$

e achando o limite no infinito

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} f(n) = \frac{-b}{a}, \quad (12)$$

concluimos que o ponto de estabilidade no infinito é dada no ponto $x = -\frac{b}{a}$.

Com os dados obtidos na experimentação, foi formulada uma modelagem da dinâmica de cada fenômeno dependendo do tempo. No total foram onze dias de experimentação e todos os dados observados foram modelados em termos quantitativos através de uma função modeladora. Para a implementação da modelagem foi utilizado o programa GeoGebra pela sua simplicidade de codificação e pelas ferramentas estatísticas que fornecem os resultados quantitativos (modelos lineares) e qualitativos (modelos não lineares).

Acurácia na predição é dada pela medida do erro que é definida como

$$erro = \left| \frac{\text{valor real} - \text{valor predicto}}{\text{valor real}} \right|, \quad (12)$$

que quanto mais próxima do 0 indica que a modelagem interpreta melhor o sistema dinâmico do fenômeno.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Diluição

Infere-se que não houve significância na massa seca de cada espécie entre as diluições, entretanto foi selecionada a diluição de 1/15 para ser utilizada nos leitões durante as análises por ser a diluição que obteve menor alteração visual nas espécies (Tabela 2).

Tabela 2 - Média da massa seca em relação a diluição do efluente das espécies de macrófita *Hygrophila costata* e *Leersia hexandra* crescidas por 12 dias. Letras diferentes maiúsculas na coluna e minúsculas na linha indicam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Diluição do chorume	<i>Leersia hexandra</i> (g.vaso ⁻¹)	<i>Hygrophila costata</i> (g.vaso ⁻¹)
1/5	0.089 Ab	0.701 Aa
1/10	0.322 Aa	0.162 Aa
1/15	0.416 Aa	0.420 Aa
1/20	0.367 Aa	0.220 Aa

Fonte: Dados da pesquisa.

3.2. Leitos cultivados

O TDH de 3 dias do leito contendo *L. hexandra* apresentou um valor de pH menor em relação aos outros e as outras comparações não apresentaram uma diferença significativa (Tabela 3). Na porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, nos TDH de 3 e 5 dias, o leito que não continha espécies vegetais apresentou valores maiores que os outros tratamentos e para o TDH de 7 dias, no leito contendo *H. costata*, houve valores menores em relação aos outros tratamentos; e valores maiores no leito contendo *L. hexandra* no TDH de 7 dias em relação aos outros tempos de detenção hidráulica.

Tabela 3 - Análise dos parâmetros físico-químicos para cada tipo de tratamento em relação a diferença significativa entre os mesmos. Letras diferentes maiúsculas na coluna e minúsculas na linha indicam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Parâmetros	Tratamento	TDH		
		3	5	7
pH	Controle	7.86 Ba	7.92 Aa	7.83 Aa
	Leersia	7.47 Aa	7.63 Aa	7.71 Aa
	Hygrophila	7.69 Ba	7.76 Aa	7.77 Aa
Saturação (%)	Controle	42.72 Ba	45.38 Ba	46.37 Ba
	Leersia	39.70 Aa	41.00 Aa	45.73Bb
	Hygrophila	37.50 Aa	37.42 Aa	38.23Aa
Concentração (ppm OD)	Controle	3.35 Aa	3.59 Ba	3.68 Ba
	Leersia	3.08 Aa	3.24 Aa	3.63 Ba
	Hygrophila	2.89 Aa	2.94 Aa	3.03 Aa

Condutividade (mS.cm ²)	Controle	1622.25 Aa	1609.25 Aa	1514.33 Aa
	Leersia	1823.75 Bb	1305.25 Aa	1264.33 Aa
	Hygrophila	1285.25 Aa	1298.25 Aa	1261.67 Aa
Resistividade (MΩ. cm)	Controle	0.0006 Aa	0.00675 Aa	0.0007 Aa
	Leersia	0.00065 Aa	0.0008 Ab	0.0008 Aa
	Hygrophila	0.0008 Aa	0.00077 Aa	0.0008 Aa
Sólidos totais (ppm)	Controle	814.5 Aa	799.0 Aa	754.3 Aa
	Leersia	914.5 Bb	655.7 Aa	634.0 Aa
	Hygrophila	642.2 Aa	649.7 Aa	631.0 Aa
DQO (mgO ² /L)	Controle	545.54 Aa	147.86 Aa	793.67 Aa
	Leersia	667.64 Aa	434.66 Aa	378.35 Aa
	Hygrophila	681.03 Aa	339.57 Aa	345.43 Aa

Fonte: Dados da pesquisa.

O TDH 5 no leito controle apresentou valores de concentração de oxigênio dissolvido maiores que os outros tipos de tratamento e o TDH 7 no leito contendo a *H. costata* houve valores menores que os outros tipos de tratamento; não tendo diferença significativa entre os TDH em nenhum tipo de tratamento. Para condutividade elétrica, no TDH 3 no leito contendo *L. hexandra* ocorreu valores maiores que os outros tipos de tratamento, mas não ocorreu essa diferença em mais nenhum tipo de tratamento ou TDH.

Para o parâmetro resistividade, não houve diferença significativa no leito contendo *L. hexandra* entre o TDH 5 e os outros TDH, mas não ocorreu essa diferença entre nenhum outro tipo de tratamento ou TDH. Nos sólidos totais, houve valores maiores no TDH 3 entre o leito contendo *L. hexandra* do que outros leitos, assim como valores maiores no leito contendo *L. hexandra* entre o TDH 3 e os outros TDH. Para o DQO não ocorreu diferença significativa entre nenhum dos tratamentos ou TDH.

A porcentagem de variação do pH foi inferior a 5%, inferindo que não ocorreu uma grande disparidade entre os valores do efluente de entrada e os de saída. Em todos os tipos de tratamento, esse parâmetro se encontra dentro das condições da legislação, com o valores entre 5 e 9.

A concentração de oxigênio dissolvido foi superior a 20%, mostrando que os valores dos efluentes de saída estão abaixo dos valores do efluente de entrada (Tabela 4). Porém, tanto o

efluente de saída quanto o de entrada encontram-se fora dos limites estabelecidos na Resolução do CONAMA nº357/2005 para corpos de água doce de Classe II (não inferior a 5mg.L⁻¹). Ou seja, em caso de destinação final em cursos d'água, o efluente do aterro sanitário, mesmo após os tratamentos existentes e a alternativa proposta com este estudo, não estaria apto.

Tabela 4 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de oxigênio dissolvido.

Tratamento	Entrada (ppm OD)	Saída (ppm OD)	Variação (%)
Controle 3	4,54	3,46	-23,79
Leersia 3	4,54	3,20	-29,59
Hygrophila 3	4,54	2,95	-35,10
Controle 5	4,54	3,66	-19,46
Leersia 5	4,54	3,23	-28,78
Hygrophila 5	4,54	2,90	-36,20
Controle 7	4,54	3,68	-18,87
Leersia 7	4,54	3,63	-19,97
Hygrophila 7	4,54	3,03	-33,33

Fonte: Dados da pesquisa

A condutividade elétrica teve um aumento de 900% entre os valores de entrada e saída para todos os tipos de tratamentos analisados (Tabela 5). O valor-limite para águas naturais é de 100µS.cm⁻¹ (BRIGANTE e ESPINDOLA, 2003).

Tabela 5 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a condutividade elétrica.

Tratamento	Entrada (mS/cm ²)	Saída (mS/cm ²)	Variação (%)
Controle 3	123,67	1519,00	1128,3
Leersia 3	123,67	2040,67	1550,13
Hygrophila 3	123,67	1287,67	941,24
Controle 5	123,67	1433,00	1058,76
Leersia 5	123,67	1341,00	984,37
Hygrophila 5	123,67	1300,33	951,48

Controle 7	123,67	1514,33	1124,37
Leersia 7	123,67	1264,33	922,37
Hygrophila 7	123,67	1261,67	920,22

Fonte: Dados da pesquisa.

Considera-se que, os valores dos efluentes de saída de todos os tratamentos estão bem acima do que é considerado aceitável de acordo com o estabelecido. E que o efluente de entrada apresentava um valor infinitamente mais reduzido do que os dos efluentes de saída, fato este que pode ser atribuído aos resíduos desprendidos da parte biológica do leite.

Tabela 6 - Análise dos metais pesados para cada tipo de tratamento em relação a diferença significativa entre os mesmos. Sendo que as letras maiúsculas é a diferença significativa entre os tipos de tratamento em um determinado TDH e as letras minúsculas a diferença significativa entre os TDH em um determinado tratamento.

Parâmetros	Tratamento	TDH		
		3	5	7
Al (ppm)	Controle	0.128 Aa	0.269 Aa	0.108 Aa
	Leersia	0.302 Aa	0.153 Aa	0.162 Aa
	Hygrophila	0.239 Aa	0.349 Aa	0.165 Aa
Ba (ppm)	Controle	0.089 Aa	0.087 Aa	0.064 Aa
	Leersia	0.162 Ba	0.104 Aa	0.080 Aa
	Hygrophila	0.079 Aa	0.082 Aa	0.085 Aa
Ca (ppm)	Controle	72.543 Aa	87.496 Aa	62.348 Aa
	Leersia	126.51 Ba	96.958 Aa	86.817 Aa
	Hygrophila	69.424 Aa	74.375 Aa	58.816 Aa
Co (ppm)	Controle	0.010 Aa	0.011 Aa	0.011 Aa
	Leersia	0.015 Aa	0.011 Aa	0.010 Aa
	Hygrophila	0.013 Aa	0.012 Aa	0.012 Aa
Cr (ppm)	Controle	0.023 Aa	0.023 Aa	0.023 Aa
	Leersia	0.027 Aa	0.019 Aa	0.022 Aa
	Hygrophila	0.018 Aa	0.021 Aa	0.025 Aa

Cu (ppm)	Controle	0.110 Aa	0.092 Aa	0.087 Aa
	Leersia	0.054 Aa	0.041 Aa	0.036 Aa
	Hygrophila	0.022 Aa	0.022 Aa	0.018 Aa
Fe (ppm)	Controle	0.169 Aa	0.224 Aa	0.291 Aa
	Leersia	0.392 Aa	0.137 Aa	0.103 Aa
	Hygrophila	0.642 Aa	0.654 Ba	0.837 Ba
Ga (ppm)	Controle	0.005 Aa	0.006 Aa	0.006 Aa
	Leersia	0.004 Aa	0.005 Aa	0.006 Aa
	Hygrophila	0.005 Aa	0.004 Aa	0.006 Aa
K (ppm)	Controle	76.83 Aa	74.68 Aa	67.99 Aa
	Leersia	65.46 Aa	54.71 Aa	46.96 Aa
	Hygrophila	81.33 Aa	82.82 Aa	80.35 Ba
Li (ppm)	Controle	0.003 Aa	0.004 Aa	0.004 Aa
	Leersia	0.004 Bb	0.003 Aa	0.003 Aa
	Hygrophila	0.003 Aa	0.002 Aa	0.003 Aa
Mg (ppm)	Controle	10.71 Aa	11.06 Aa	9.71 Aa
	Leersia	19.19 Ba	15.38 Ba	13.79 Aa
	Hygrophila	9.84 Aa	10.22 Aa	10.17 Aa
Mn (ppm)	Controle	0.009 Aa	0.011 Aa	0.004 Aa
	Leersia	0.098 Ba	0.063 Aa	0.036 Aa
	Hygrophila	0.352 Ca	0.362 Ba	0.442 Ba
Pb (ppm)	Controle	0.004 Aa	0.004 Aa	0.005 Aa
	Leersia	0.005 Aa	0.004 Aa	0.004 Aa
	Hygrophila	0.006 Aa	0.008 Ba	0.003 Aa
Rb (ppm)	Controle	0.037 Aa	0.034 Aa	0.029 Aa
	Leersia	0.034 Aa	0.026 Aa	0.022 Aa
	Hygrophila	0.044 Aa	0.041 Aa	0.039 A
Sr (ppm)	Controle	0.672 Aa	0.737 Aa	0.576 Aa
	Leersia	0.829 Bb	0.597 Aa	0.526 Aa
	Hygrophila	0.537 Aa	0.554 Aa	0.514 Aa

V (ppm)	Controle	0.118 Aa	0.125 Aa	0.105 Aa
	Leersia	0.219 Ba	0.157 Ba	0.136 Aa
	Hygrophila	0.095 Aa	0.100 Aa	0.008 Aa
Zn (ppm)	Controle	0.814 Aa	0.670 Aa	0.294 Aa
	Leersia	0.379 Aa	0.441 Aa	0.639 Aa
	Hygrophila	0.578 Aa	0.715 Aa	0.349 Aa

Fonte: Dados da pesquisa.

O alumínio apresentou uma grande oscilação em relação aos valores de porcentagem de variação. O alumínio pode ser tóxico para a biocenose aquática em águas ácidas e sem ou com reduzida capacidade tampão a partir de concentrações de 0,1mg/L (HEMAT, 2009). Várias autoridades internacionais estipularam normas de qualidade para o alumínio em águas superficiais e o valor de referência para a proteção da vida aquática varia entre 5 a 100µg/L de alumínio solúvel (ALBERTI et al, 2005). Com isso, a concentração de alumínio do efluente tratado apresentou valores superiores aos considerados aceitáveis em todos os tipos de tratamento.

Em relação às concentrações de Bário, Cromo, Cobre, Manganês e Chumbo, foi observado um aumento nos valores dos efluentes de saída de todos os tratamentos em relação ao efluente de entrada. Entretanto, apesar desse acréscimo expressivo nos valores, estes ainda se encontram dentro das condições estabelecidas pela Resolução CONAMA n°430/2011 (Tabela 7).

Tabela 7 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Bário.

Tratamento	Entrada (ppm)	Saída (ppm)	% variação	CONAMA 430/2011
Controle 3	0,0071	0,0837	1072,90	5,0 mg/L
Leersia 3	0,0071	0,1934	2611,21	5,0 mg/L
Hygrophila 3	0,0071	0,0877	1129,44	5,0 mg/L
Controle 5	0,0071	0,0771	980,37	5,0 mg/L
Leersia 5	0,0071	0,1155	1518,69	5,0 mg/L
Hygrophila 5	0,0071	0,0896	1155,61	5,0 mg/L
Controle 7	0,0071	0,0637	792,52	5,0 mg/L
Leersia 7	0,0071	0,0801	1022,43	5,0 mg/L

Hygrophila 7	0,0071	0,0853	1096,26	5,0 mg/L
---------------------	--------	--------	---------	----------

Fonte: Dados da pesquisa.

A concentração de Bário, no TDH de 3 dias no leito contendo *L. hexandra* foi maior em relação aos outros leitos. O parâmetro de Manganês, nos TDH 3, 5 e 7 dias no leito contendo *H. costata* apresentou valores maiores do que os outros leitos. O Chumbo, no TDH de 5 dias no leito contendo *H. costata* também teve valores maiores do que os outros leitos.

A concentração de Cálcio apresentou um aumento de mais de 600% na relação efluentes de saída e de entrada (Tabela 8). Para o TDH de 3 dias, no leito contendo *L. hexandra*, foram observados valores maiores do que em relação aos outros leitos. O cálcio, além de ser um nutriente essencial para as plantas, ajuda a evitar seu estresse decorrente da presença de metais pesados e/ou salinidade (DIAS e ALVAREZ, 1996). Conforme os valores referenciados por Ayres e Westcot (1999), os valores normais de cálcio na água destinada a irrigação apresentam um valor referenciado de 0 a 400mg.L⁻¹.

Tabela 8 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Cálcio.

Tratamento	Entrada (ppm)	Saída (ppm)	Variação (%)
Controle 3	8,4589	64,4183	661,54
Leersia 3	8,4589	143,4302	1595,61
Hygrophila 3	8,4589	75,3596	790,89
Controle 5	8,4589	81,2924	891,03
Leersia 5	8,4589	104,7044	1137,80
Hygrophila 5	8,4589	80,0523	846,37
Controle 7	8,4589	62,3482	637,07
Leersia 7	8,4589	86,8167	926,34
Hygrophila 7	8,4589	58,8160	595,31

Fonte: Dados da pesquisa.

O acréscimo nos valores de saída em relação aos de entrada, pode ser explicado pela inserção de resíduos provenientes dos elementos biológicos do leito, embora, estes encontram-se abaixo do valor de referência comparado.

Para a concentração de Cobalto (Tabela 9), os valores dos efluentes de saída aumentaram 2500% em relação ao efluente de entrada. De acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 o valor máximo permitido para Cobalto é de 250mg/L . Considerando esse padrão para a comparação com os valores dos efluentes de saída, conclui-se que todos os tipos de tratamento estão abaixo dos valores considerados adequados.

Tabela 9 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Cobalto.

Tratamento	Entrada (ppm)	Saída (ppm)	Variação (%)
Controle 3	0,0003	0,0097	2800,00
Leersia 3	0,0003	0,0162	4760,00
Hygrophila 3	0,0003	0,0132	3870,00
Controle 5	0,0003	0,0095	2760,00
Leersia 5	0,0003	0,0116	3390,00
Hygrophila 5	0,0003	0,0128	3740,00
Controle 7	0,0003	0,0107	3110,00
Leersia 7	0,0003	0,0102	2960,00
Hygrophila 7	0,0003	0,0121	3540,00

Fonte: Dados da pesquisa.

Para a concentração de Ferro, a porcentagem de variação reflete um aumento dos valores do efluentes de saída em relação ao efluente de entrada para todos os tipos de tratamento, com exceção do tratamento no leito com a *L. hexandra* e TDH de 7 dias, o qual apresentou um decréscimo no valor do parâmetro Ferro na saída. Com uma porcentagem de variação superior a 20%. Entretanto, todos os valores dos efluentes de saída encontraram-se dentro dos padrões e condições da Resolução CONAMA nº430/2011.

Para os TDH 5 e 7 dias, o leito contendo *H. costata* apresentou valores maiores do que em relação aos outros leitos.

Tabela 10 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Ferro.

Tratamento	Entrada (ppm)	Saída (ppm)	Variação (%)	CONAMA 430/2011
------------	---------------	-------------	--------------	-----------------

Controle 3	0,1391	0,1819	30,75	15,0 mg/L
Leersia 3	0,1391	0,4963	256,77	15,0 mg/L
Hygrophila 3	0,1391	0,7591	445,75	15,0 mg/L
Controle 5	0,1391	0,2671	92,00	15,0 mg/L
Leersia 5	0,1391	0,1701	22,29	15,0 mg/L
Hygrophila 5	0,1391	0,8185	488,40	15,0 mg/L
Controle 7	0,1391	0,2912	109,32	15,0 mg/L
Leersia 7	0,1391	0,1033	-25,74	15,0 mg/L
Hygrophila 7	0,1391	0,8372	501,87	15,0 mg/L

Fonte: Dados da pesquisa.

Para a concentração de Zinco, também houve um aumento (>10%) na porcentagem de variação dos efluentes de saída em relação da entrada para todos os tratamentos analisados, com exceção do leito controle para TDH de 7 dias, o qual apresentou uma pequena redução no valor de zinco. Todos os tratamentos analisados estão dentro dos padrões e condições estabelecidos pela Resolução CONAMA n°430/2011.

Tabela 11 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Zinco.

Tratamento	Entrada (ppm)	Saída (ppm)	Variação (%)	CONAMA 430/2011
Controle 3	0,3075	0,6453	109,86	5,0 mg/L
Leersia 3	0,3075	0,4134	34,43	5,0 mg/L
Hygrophila 3	0,3075	0,6772	120,24	5,0 mg/L
Controle 5	0,3075	0,7286	136,93	5,0 mg/L
Leersia 5	0,3075	0,5248	70,66	5,0 mg/L
Hygrophila 5	0,3075	0,7980	159,52	5,0 mg/L
Controle 7	0,3075	0,2943	-4,28	5,0 mg/L
Leersia 7	0,3075	0,6397	108,02	5,0 mg/L
Hygrophila 7	0,3075	0,3486	13,36	5,0 mg/L

Fonte: Dados da pesquisa.

Para o parâmetro de Potássio houve um grande aumento nos valores do efluente de saída em relação ao de entrada (700%). No TDH de 7 dias, no leito contendo *H. costata* foram observados valores superiores do que em relação aos outros leitos. Para Ayres e Westcot (1991), concentrações de potássio, variando de 0 a 78mg.L⁻¹ são normais em águas de irrigação. A Resolução CONAMA nº430/2011 e a Portaria nº518/04 do Ministério da Saúde não fazem referência a este parâmetro. Para o consumo humano, o valor máximo permissível, segundo a OMS (1985), é de 20mg.L⁻¹.

Considerando o parâmetro da OMS, todos os tratamentos estão acima do valor estipulado. De acordo com o parâmetro de Ayres e Westcot, os tratamentos envolvendo a *H. costata* estão acima do padrão indicado e os outros tratamentos estão dentro do limite estabelecido.

A concentração de Lítio (Tabela 12), apresentou uma grande porcentagem de variação, acima de 2400%, com valores dos efluentes de saída mais elevados do que os do efluente de entrada. Segundo ARAL e VECCHIO (2008) o Lítio não se bioacumula e a ingestão de alimentos e água contendo Lítio, bem como a exposição ocupacional não apresenta riscos, pois sua toxicidade é baixa. Além disso, também não apresentam ameaça a flora e fauna aquática, devido à baixa toxicidade.

De acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 o valor máximo permitido para Lítio é de 2,5mg/L. De acordo com a legislação, todos os tratamentos estão abaixo do valor estabelecido e assim em conformidade com a condição determinada.

Tabela 12 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Lítio.

Tratamento	Entrada (ppm)	Saída (ppm)	Variação (%)
Controle 3	0,0001	0,0033	3166,67
Leersia 3	0,0001	0,0044	4300,00
Hygrophila 3	0,0001	0,0026	2500,00
Controle 5	0,0001	0,0034	3300,00
Leersia 5	0,0001	0,0032	3133,33
Hygrophila 5	0,0001	0,0025	2400,00
Controle 7	0,0001	0,0035	3400,00
Leersia 7	0,0001	0,0029	2766,67

Hygrophila 7	0,0001	0,0026	2466,67
---------------------	--------	--------	---------

Fonte: Dados da pesquisa.

Foi observado um elevado aumento na concentração de Magnésio (Tabela 13) no efluente de saída em relação ao de entrada, promovendo um acréscimo na porcentagem de variação, (>1700%). Para os TDH de 3 e 5 dias, no leito contendo *L. hexandra* foram identificados valores maiores do que em relação aos outros leitos. De acordo com Ayres e Westcot (1991) os valores limites recomendados para águas de irrigação variam de 0 a 60 mg.L⁻¹ e segundo a OMS, o magnésio é avaliado pelo máximo desejável de 30mg.L⁻¹ e o máximo permissível de 150mg.L⁻¹, os valores obtidos na pesquisa estiveram abaixo do permitido em todos os tipos de tratamento.

Tabela 13 - Análise da porcentagem de variação entre os efluentes de entrada e de saída, de todos os tipo de tratamento (*Leersia hexandra*, *Hygrophila costata* e controle) e os diferentes TDH (3, 5 e 7), para a concentração de Magnésio.

Tratamento	Entrada (ppm)	Saída (ppm)	Variação (%)
Controle 3	0,5362	9,9291	1751,63
Leersia 3	0,5362	21,3889	3888,76
Hygrophila 3	0,5362	10,0744	1778,73
Controle 5	0,5362	9,7941	1726,46
Leersia 5	0,5362	16,1832	2917,94
Hygrophila 5	0,5362	10,4881	1855,89
Controle 7	0,5362	9,7122	1711,19
Leersia 7	0,5362	13,7961	2472,78
Hygrophila 7	0,5362	10,1712	1796,78

Fonte: Dados da pesquisa.

A concentração de Vanádio apresentou um aumento na porcentagem de variação acima de 2100%, na saída em relação ao efluente de entrada. Para os TDH 3 e 5 dias, foram observados valores maiores no leito contendo *L. hexandra* do que nos outros leitos. A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 estabelece para o vanádio valores máximos permitidos (VMP) para as condições e padrões de lançamento de efluente de 0,1mg/L . De acordo com a legislação, todos os tratamentos estão acima do valor estabelecido.

3.3. Modelagem matemática

Fez-se a análise dos dados obtidos pelos parâmetros, em todos os dias que foram realizadas as coletas. Com os valores obtidos dessas análises, verificou-se a variação entre o valor do dia e do dia seguinte, afim de obter a taxa de variação por um período unitário de tempo. O período é considerado unitário se ele for a diferença das observações consecutivas. Assim, um período unitário poderia representar um, dois ou três dias. Isto foi estabelecido com o objetivo de simplificar a modelagem.

Para o parâmetro pH, a variação entre os valores dos dados coletados, teve um decréscimo durante o período de coleta; sendo este expresso pela taxa de variação negativa representada pela coluna $x_{n+1} - x_n$. Foi detalhado, na primeira coluna (Tabela 14), o dia, mês e ano da observação. Na segunda e terceira coluna foi apresentado o valor coletado x_n e a taxa de variação $x_{n+1} - x_n$, respectivamente, correspondente ao tratamento de controle. Da mesma forma, na quarta e quinta coluna, são apresentados os valores x_n e $x_{(n+1)} - x_n$, respectivamente, correspondente ao tratamento de *L. hexandra*. Finalmente, na sexta e sétima colunas os valores de x_n e $x_{(n+1)} - x_n$, respectivamente, correspondente ao tratamento de *H. costata*. Os resultados das demais análises (Tabela 15, 17, 19, 21 e 23) foram organizadas da mesma forma.

Tabela 14 - Dados da modelagem matemática referentes as análises de pH.

Dia da coleta	Controle		<i>Leersia</i>		<i>Hygrophila</i>	
	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$
25/09/17	7,86	0,12	7,86	-0,44	7,86	-0,08
28/09/17	7,98	-0,04	7,42	0,34	7,78	-0,08
30/09/17	7,94	-0,24	7,76	-0,01	7,7	-0,07
02/10/17	7,7	-0,33	7,75	-0,08	7,63	-0,03
04/10/17	7,37	-0,62	7,67	-0,03	7,6	-0,08
06/10/17	6,75		7,64		7,52	

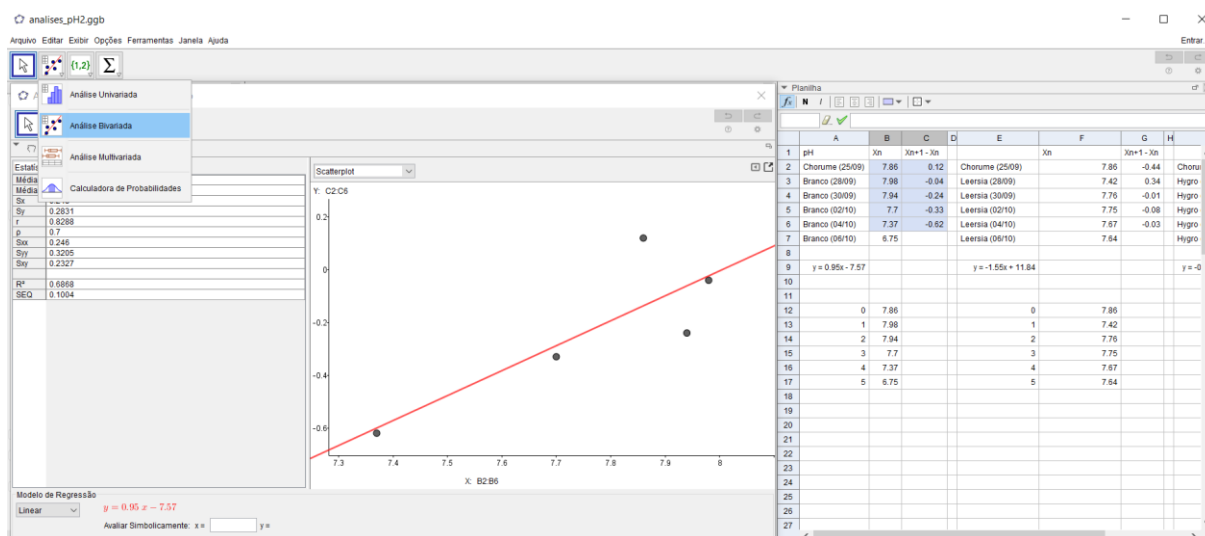
Fonte: Dados da pesquisa.

Os pontos de coordenadas (x_n, x_{n+1}, x_n) foram ajustados a uma curva, utilizando o software GeoGebra através da sua ferramenta de análise bivariada. Verifica-se (Figura 7) o ambiente do software do tipo planilha de dados, onde foram introduzidos os dados com o mesmo formato que da Tabela 14.

Foi criado uma lista de pontos da forma (x_n, x_{n+1}, x_n) , para realizar a análise bivariada, utilizando a ferramenta do software no botão referente a esse estudo. O aplicativo devolve uma gráfico da curva de ajuste e a fórmula analítica da mesma, além de outros dados estatísticos. É mostrado o diagrama de dispersão (Figura 7), que é por definição o conjunto de pontos $(x_n, x_{n+1} - x_n)$, no plano cartesiano junto com a reta de ajuste obtida pelo aplicativo que, no caso do tratamento de controle é dada pela fórmula

$$y = 0.95x - 7.57.$$

Figura 7 - O ambiente do software GeoGebra e sua ferramenta de análise bivariada.



Fonte: Dados da pesquisa.

Realizado esse processo, foi obtida a órbita , $f(n)$, do ponto inicial (primeira observação) que no caso do pH é $x_0 = 7.86$. Esta órbita é dada pela fórmula:

$$f(n) = (0.95)^n(7.86 + 7.968) + 7.968$$

e, dessa forma, foi notado que a condição da Equação (11) não é satisfeita para ou seja, temos que $a = 0.95$. Assim, como $|a + 1| = 1.95 > 1$, concluímos que o sistema dinâmico construído a partir do pH com tratamento de controle pode ser classificado como não estável no infinito. De fato,

$$e = \lim f(n) = -\infty,$$

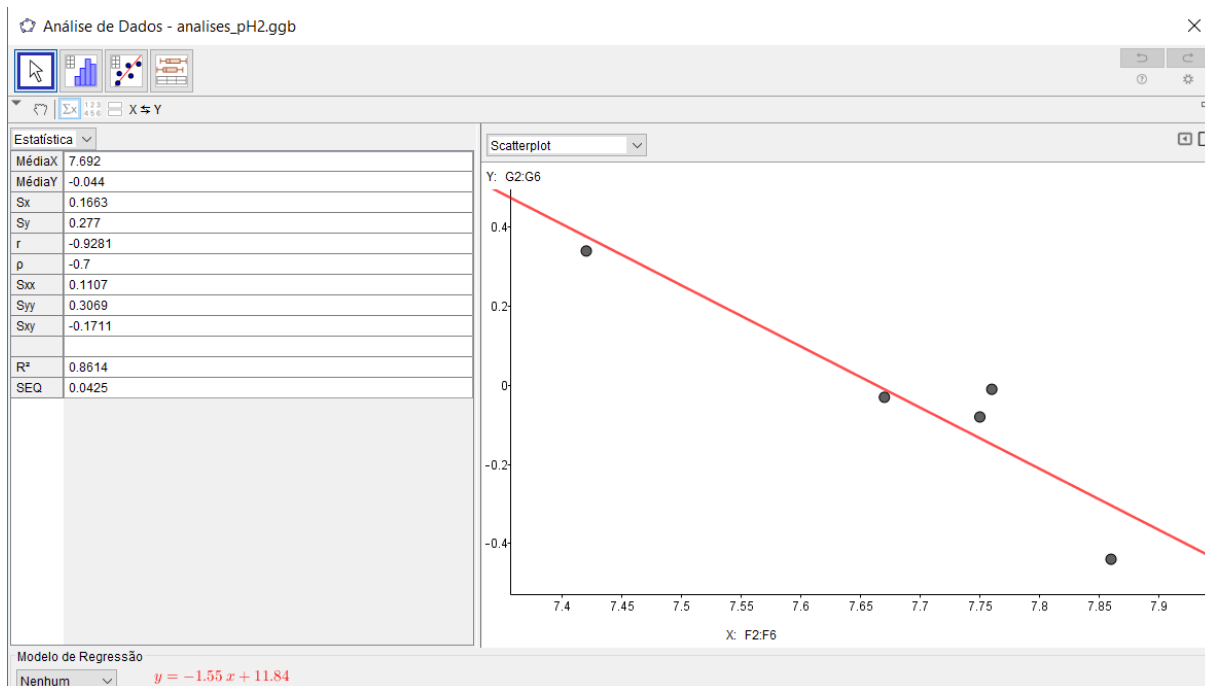
o que mostra a característica de não estabilidade deste sistema. Dos casos restantes analisados, não houve outros com essa característica, fornecendo sistemas estáveis no infinito.

Com o tratamento com a *L. hexandra*, a reta de ajuste vem dada pela fórmula

$$y = -1,55x + 11,84$$

O diagrama de dispersão e o gráfico da reta de ajuste são mostrados na Figura 8.

Figura 8 - O resultado da análise bivariada do pH para o tratamento com a *Leersia hexandra*: a reta de ajuste com o diagrama de dispersão dos pontos analisados.



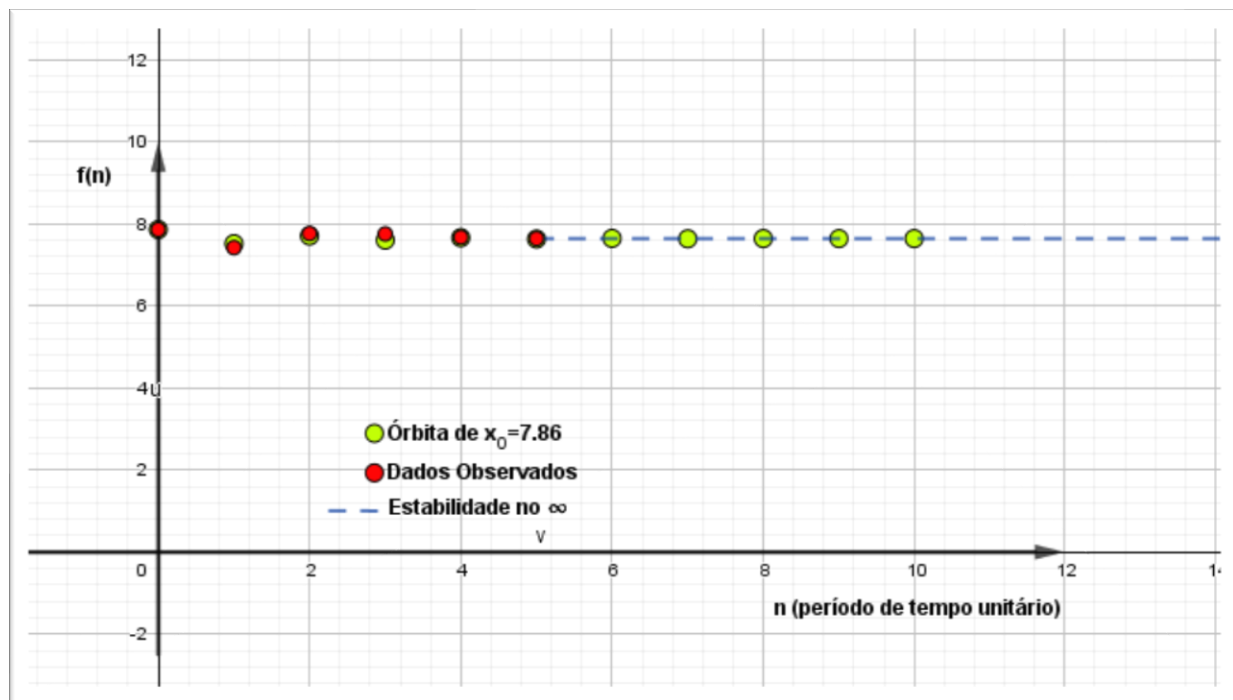
Fonte: Dados da pesquisa.

Em seguida, foi obtida a órbita de $x_0 = 7.86$, aplicando a fórmula da Equação (10) como sendo

$$f(n) = (-0.55)^n(7.86 + 7.638) + 7.638$$

Neste caso a condição da Equação (11) é satisfeita, pois $|a + 1| = 0.55 < 1$ e daí concluímos que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e = 7.638$. A órbita $f(n)$ de $x_0 = 7.86$ é mostrada no plano cartesiano como função do tempo n na Figura 9, que também mostra o diagrama de dispersão dos dados experimentais (pontos em cor vermelha), os pontos da função órbita (pontos de cor verde) e o ponto de equilíbrio no infinito que, no gráfico, é representado pela linha azul pontilhada.

Figura 9 - Gráfico da função $f(n)$ no plano cartesiano referente ao tratamento com *Leersia hexandra*, junto com o diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito.



Fonte: Dados da pesquisa.

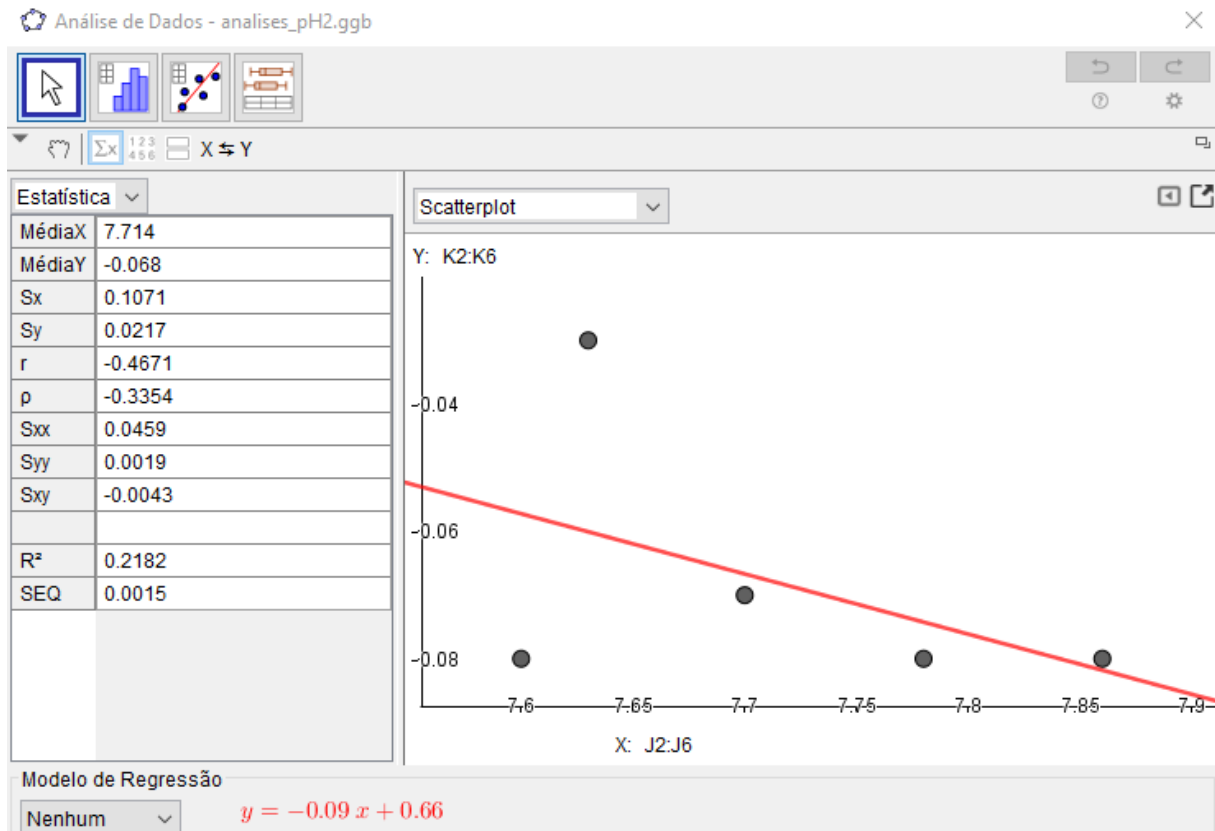
Continuando com o tratamento do pH, agora referente a *H. costata*, procedemos da mesma forma que foi feita para o tratamento da *L. hexandra*: utilizando a análise bivariada do GeoGebra, obtemos a reta de ajuste dada por

$$y = - 0,09 x + 0.66$$

mostrada na Figura 10 junto com o diagrama de dispersão dos pontos $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$.

A órbita $x_0 = 7.86$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n) = (0.91)^n (7.86 + 7.33) + 7.33$. Nesse caso a condição $|a+1| < 1$ é satisfeita, porque $|a+1| = 0.91 < 1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e = 7.33$.

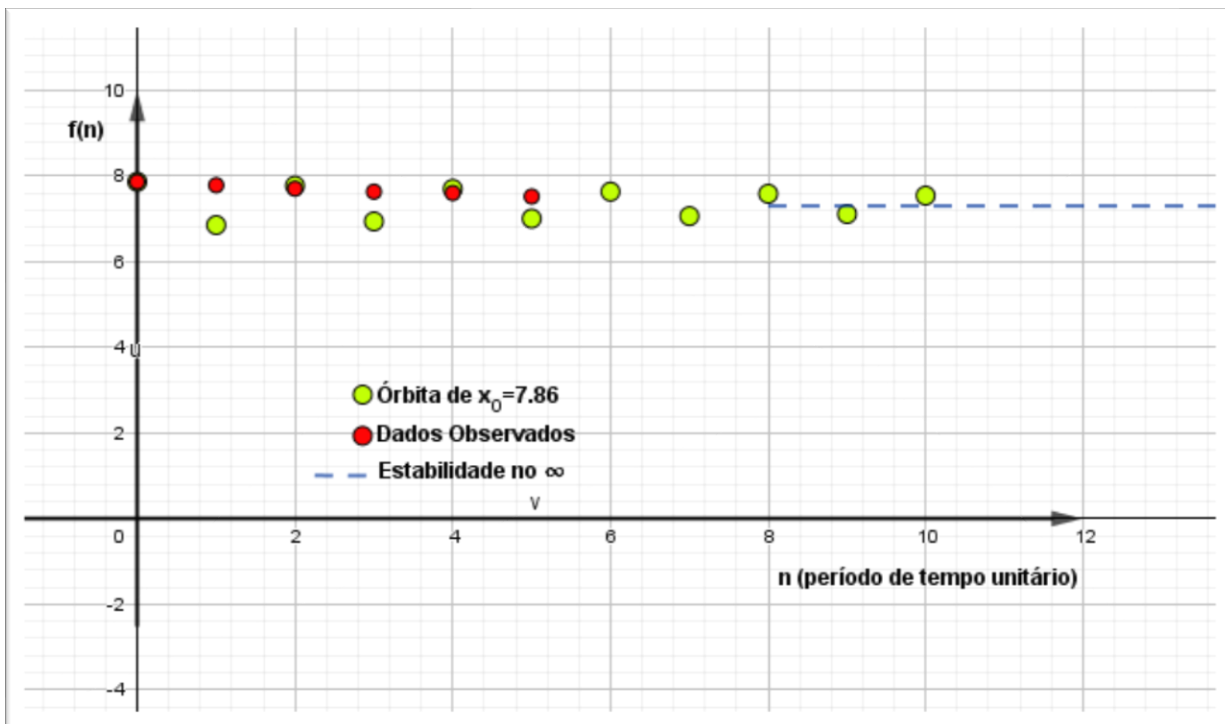
Figura 10 - Análise bivariada do pH para o tratamento com a *Hygrophila costata*



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 11), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 11 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Hygrophila costata*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O erro relativo cometido na aproximação da função órbita, que pode ser considerado como uma função de predição, e os dados coletados são calculados segundo a fórmula da Equação (13), de forma a obter uma conclusão da efetividade da modelagem, como identificação do modelo e como função preditora. A Tabela 15 contendo os erros relativos da modelagem do pH com os tratamentos de *L. hexandra* e *H. costata*, mostra que a modelagem tem como resultado baixo erro relativo, confirmando a sua eficiência nos dois sentidos propostos por este estudo.

Tabela 15 - Erro cometido na modelagem do pH pelos diferentes tratamentos.

Dia	1	2	3	4	5
Erro <i>Leersia</i>	0.01	0.01	0.02	0	0
Erro <i>Hygrophila</i>	0.12	0.01	0.09	0.01	0.07

Fonte: Dados da pesquisa.

3.3.1. Condutividade

Para a concentração de condutividade elétrica, a variação entre os valores dos dados coletados, houve tanto acréscimos quanto decréscimos nos valores dos dados em relação ao valor anterior; sendo este expresso pela taxa de variação negativa e positiva representada pela coluna $x_{n+1} - x_n$. A Tabela 16 é organizada da mesma forma que a tabela referente ao parâmetro pH.

Tabela 16 - Dados referentes as análises de condutividade elétrica.

	Controle		<i>Leersia</i>		<i>Hygrophila</i>	
Dia da coleta	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$
25/09/17	137	1414	137	2654	137	1254
28/09/17	1551	-103	2791	-1059	1391	-1
30/09/17	1448	-158	1732	-157	1390	-134
02/10/17	1290	-319	1575	-339	1256	-266
04/10/17	971	30	1236	-17	990	13
06/10/17	1001		1219		1003	

Fonte: Dados da pesquisa.

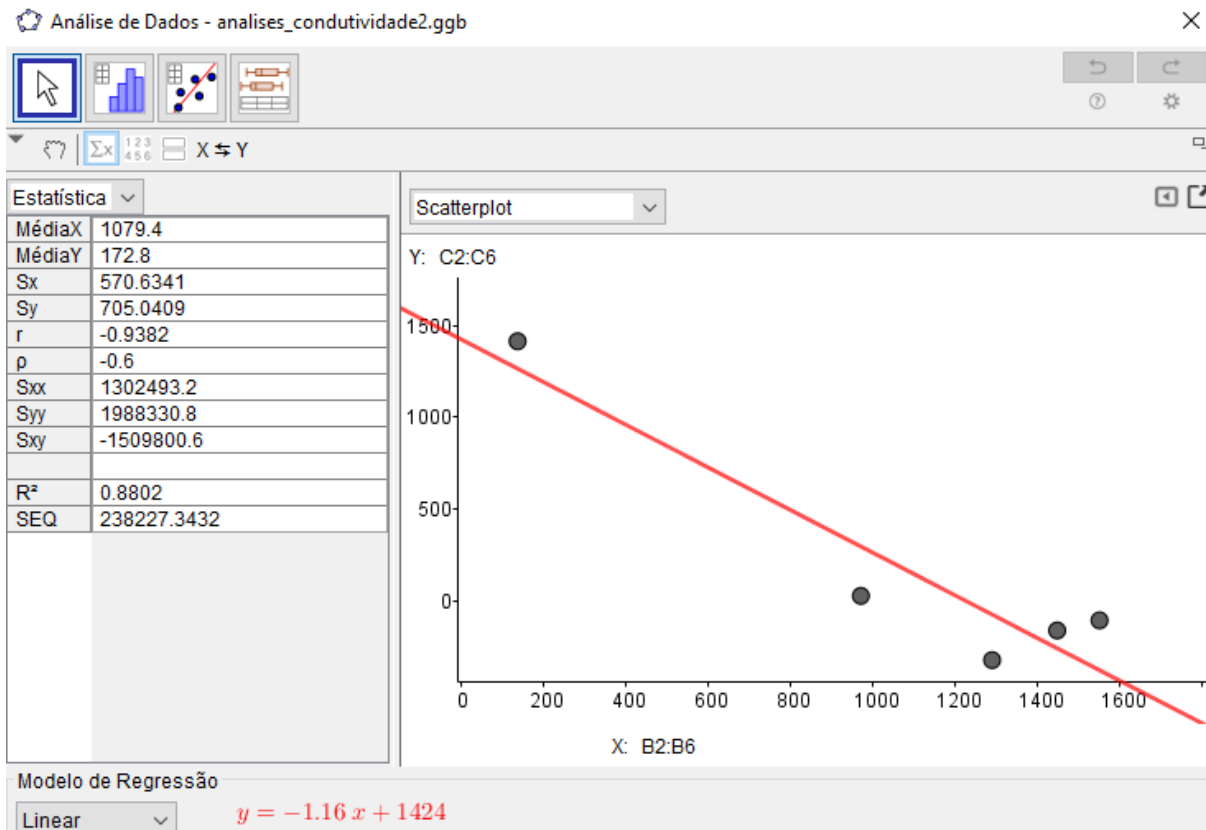
Com o tratamento do controle, a reta de ajuste vem dada pela fórmula

$$y = - 1,16 x + 1424$$

E então obteve-se o diagrama de dispersão e o gráfico da reta de ajuste (Figura 12).

A órbita $x_0 = 137$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n)=(0.16)^n (137+1227.58)+1227.58$. Nesse caso a condição $|a+1|<1$ é satisfeita, porque $|a+1|=0.16<1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e=1227.58$.

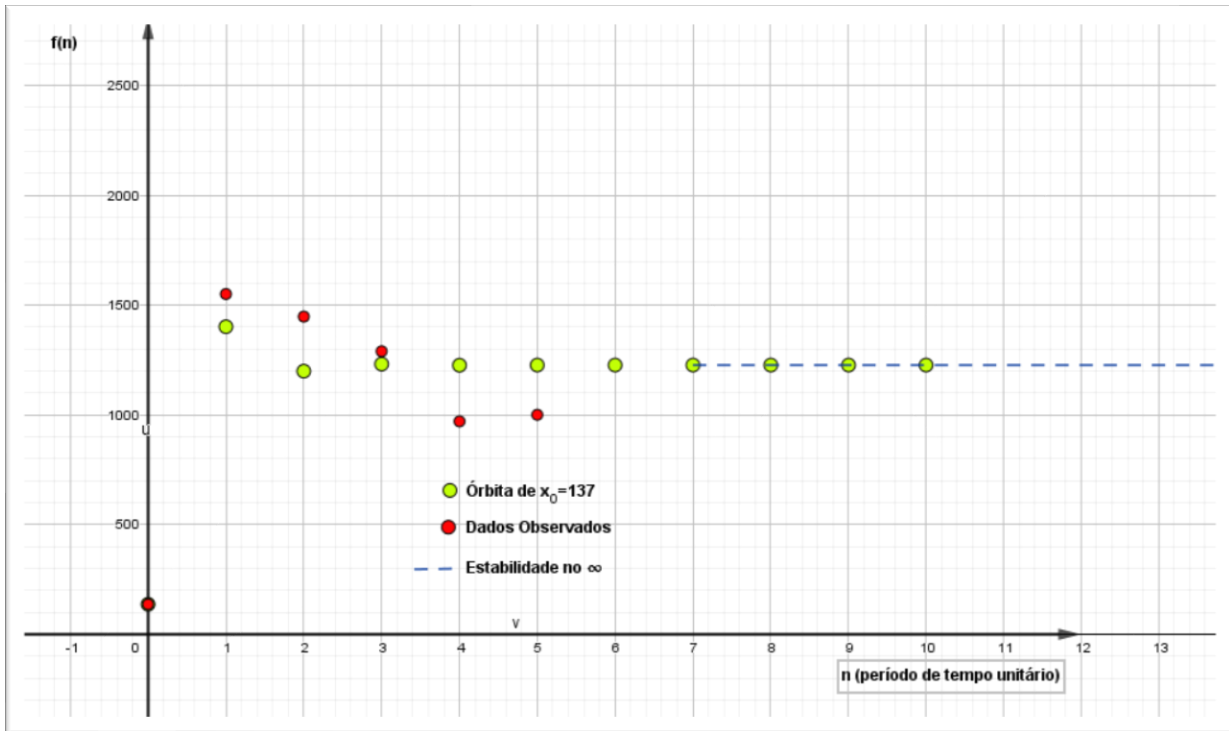
Figura 12 - Análise bivariada da condutividade elétrica para o tratamento de controle



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 13), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 13 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito) referente ao tratamento controle para a condutividade elétrica.



Fonte: Dados da pesquisa.

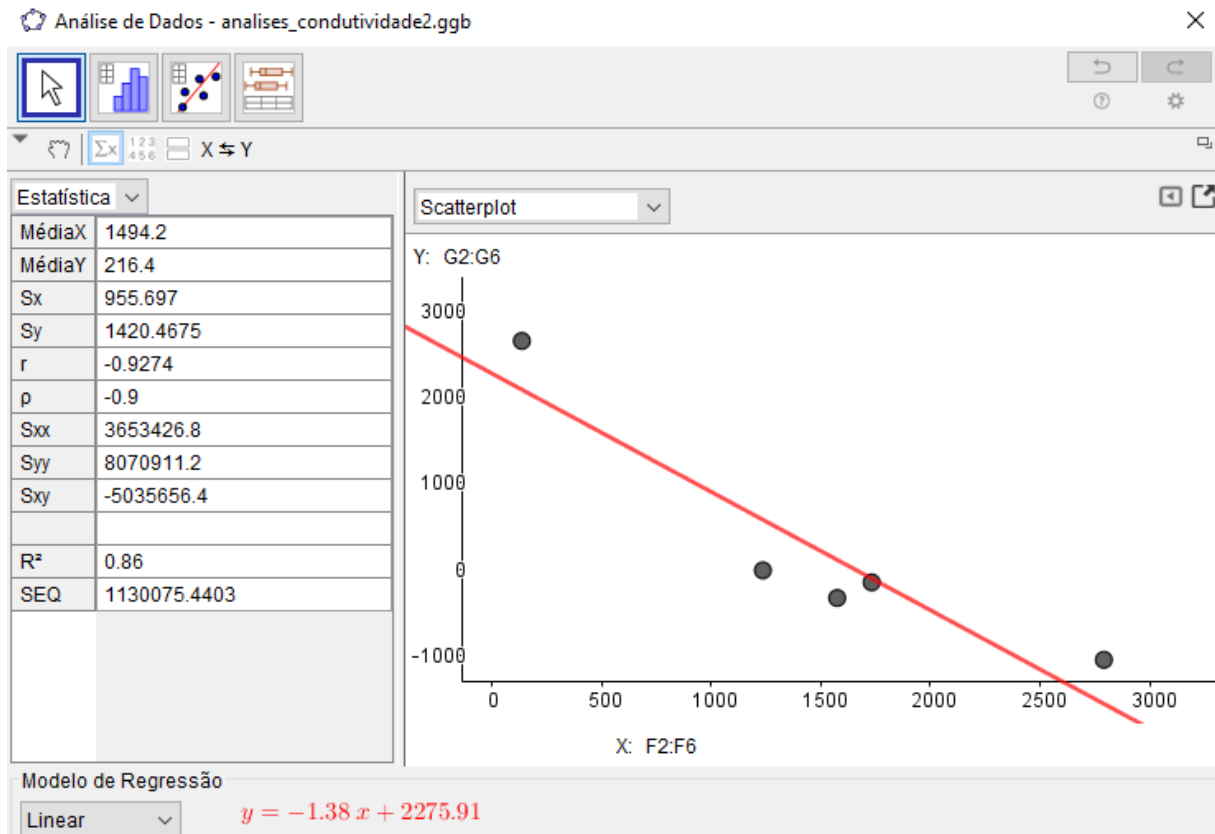
Continuando com o parâmetro condutividade elétrica, agora referente a *L. hexandra*, procedemos da mesma forma que foi feita para o tratamento do controle: utilizando a análise bivariada do GeoGebra, obtemos a reta de ajuste dada por:

$$y = -1,38x + 2275,91,$$

mostrada na Figura 14 junto com o diagrama de dispersão dos pontos $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$.

A órbita $x_0 = 137$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n) = (0.38)^n (137 + 1649.21) + 1649.21$. Nesse caso a condição $|a+1| < 1$ é satisfeita, porque $|a+1| = 0.38 < 1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e = 1649.21$.

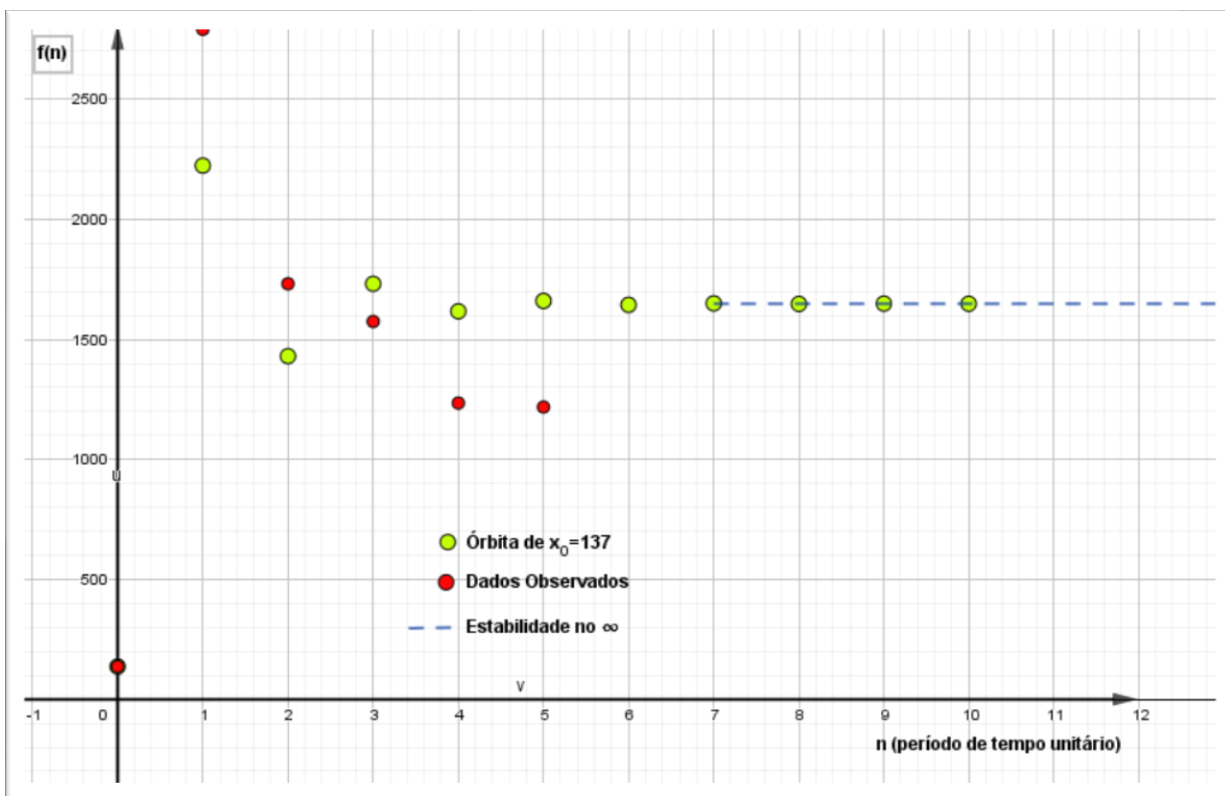
Figura 14 - Análise bivariada da condutividade elétrica para o tratamento com *Leersia hexandra*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem é mostrado no gráfico da Figura 15, em que os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 15 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Leersia hexandra* para o parâmetro condutividade elétrica



Fonte: Dados da pesquisa.

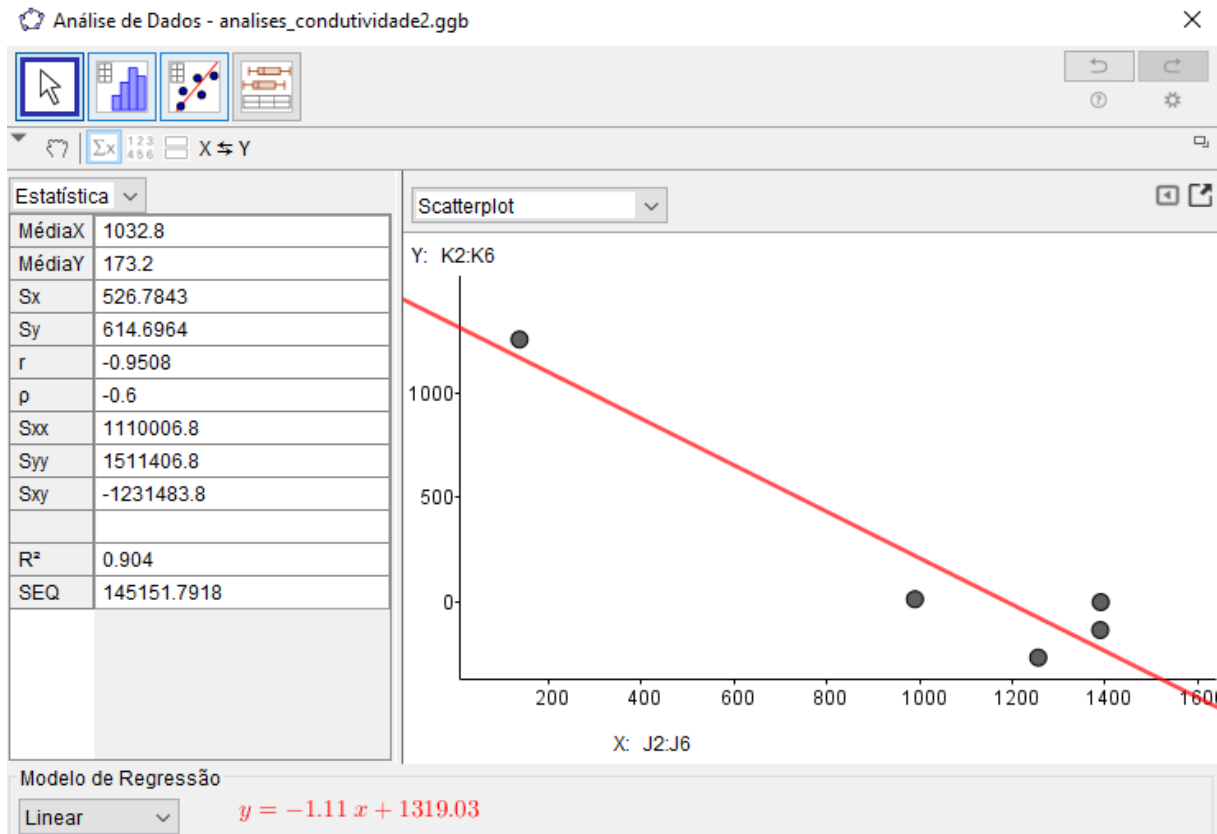
Continuando com o parâmetro condutividade elétrica, agora referente a *H. costata*, procedemos da mesma forma que foi feita para os tratamentos anteriores: utilizando a análise bivariada do GeoGebra, obtemos a reta de ajuste dada por

$$y = - 1,11 x + 1319.03,$$

mostrada na Figura 16 junto com o diagrama de dispersão dos pontos $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$.

A órbita $x_0 = 137$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n)=(0.11)^n (137+1188.31)+1188.31$. Nesse caso a condição $|a+1|<1$ é satisfeita, porque $|a+1|=0.11<1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e=1188.31$.

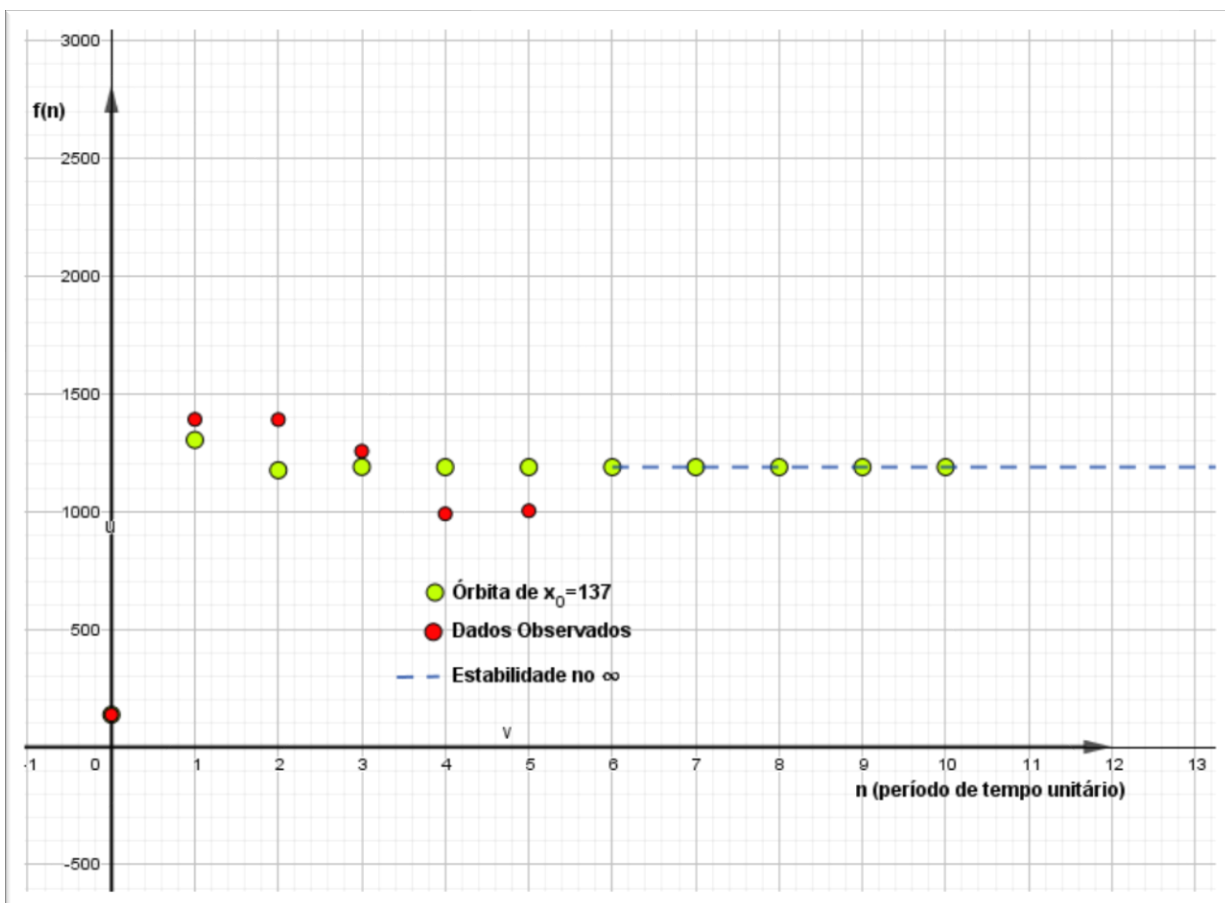
Figura 16 - Análise bivariada da condutividade elétrica para o tratamento com *Hygrophila costata*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem é mostrado no gráfico da Figura 17, em que os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 17 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Hygrophila costata* para o parâmetro condutividade elétrica



Fonte: Dados da pesquisa.

Os erros relativos da modelagem da condutividade elétrica com os tratamentos de controle, *L. hexandra* e *H. costata* (Tabela 17), mostram que a modelagem tem como resultado baixo erro relativo, confirmando a sua eficiência nos dois sentidos propostos por este estudo.

Tabela 17 - Erro cometido na modelagem da condutividade elétrica pelos diferentes tratamentos.

Dia	1	2	3	4	5
Erro de Controle	0.1	0.17	0.04	0.26	0.23
Erro de <i>Leersia</i>	0.2	0.17	0.1	0.31	0.36
Erro <i>Hygrophila</i>	0.06	0.15	0.05	0.2	0.18

Fonte: Dados da pesquisa.

3.3.2. Porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido

Para a concentração de porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, a variação entre os valores dos dados coletados, houve tanto acréscimos quanto decréscimos nos valores dos dados em relação ao valor anterior; sendo este expresso pela taxa de variação negativa e positiva representada pela coluna $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$. A Tabela 18 é organizada da mesma forma que a tabela referente ao parâmetro pH.

Tabela 18 - Dados referentes as análises de porcentagem saturação de oxigênio dissolvido.

	Controle		<i>Leersia</i>		<i>Hygrophila</i>	
Dia da coleta	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$
25/09/17	74,6	-24,2	74,6	-30,3	74,6	-38,6
28/09/17	50,4	-1	44,3	-1,2	36	-3,2
30/09/17	49,4	0	43,1	9,2	32,8	0,9
02/10/17	49,4	14,7	52,3	-1,5	33,7	11,6
04/10/17	64,1	-6,1	50,8	-3,5	45,3	-2,6
06/10/17	58		47,3		42,7	

Fonte: Dados da pesquisa.

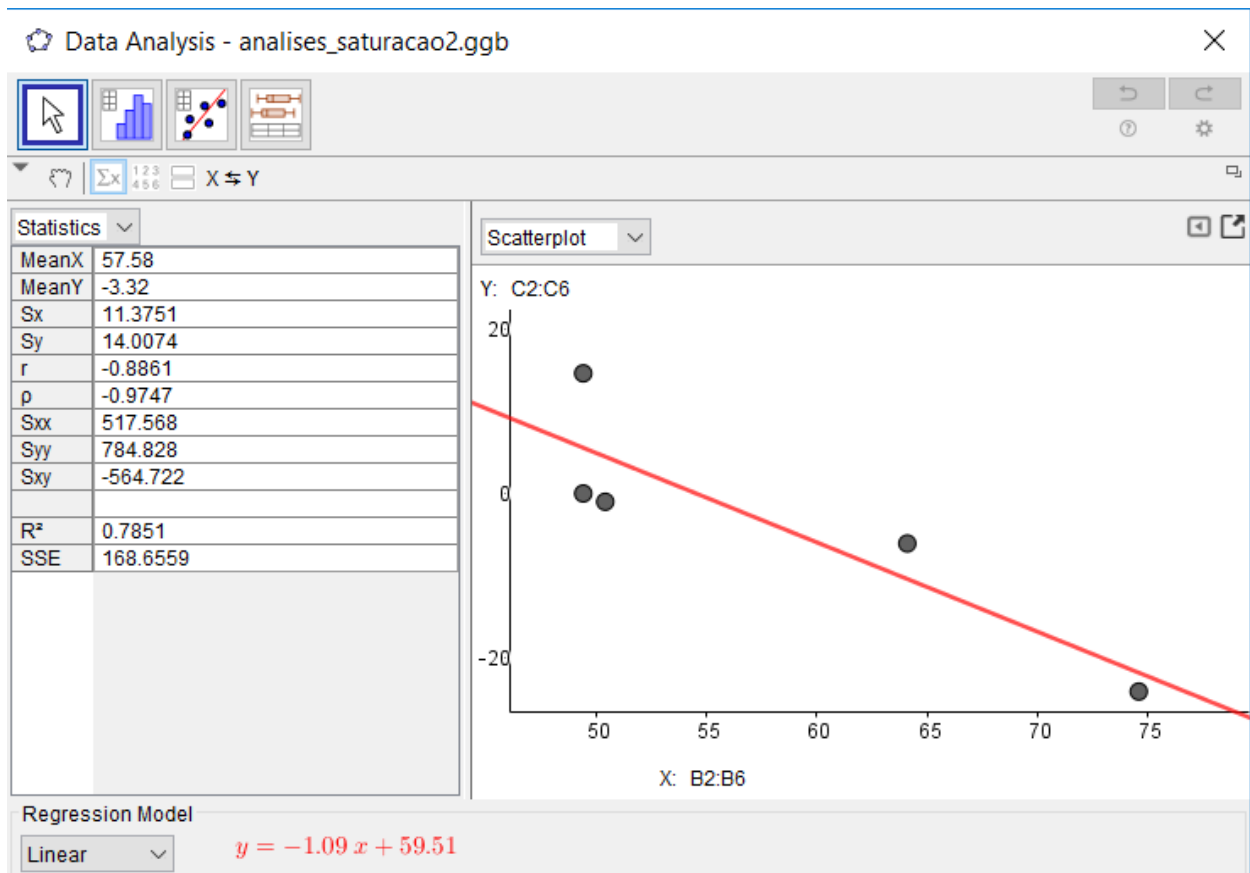
Com o tratamento do controle, a reta de ajuste vem dada pela fórmula

$$y = - 1,09 x + 59.51$$

O diagrama de dispersão e o gráfico da reta de ajuste são mostrados na Figura 18.

A órbita $x_o = 74.6$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n)=(0.09)^n (74.6+54.59)+54.59$. Nesse caso a condição $|a+1|<1$ é satisfeita, porque $|a+1|=0.09<1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e=54.59$.

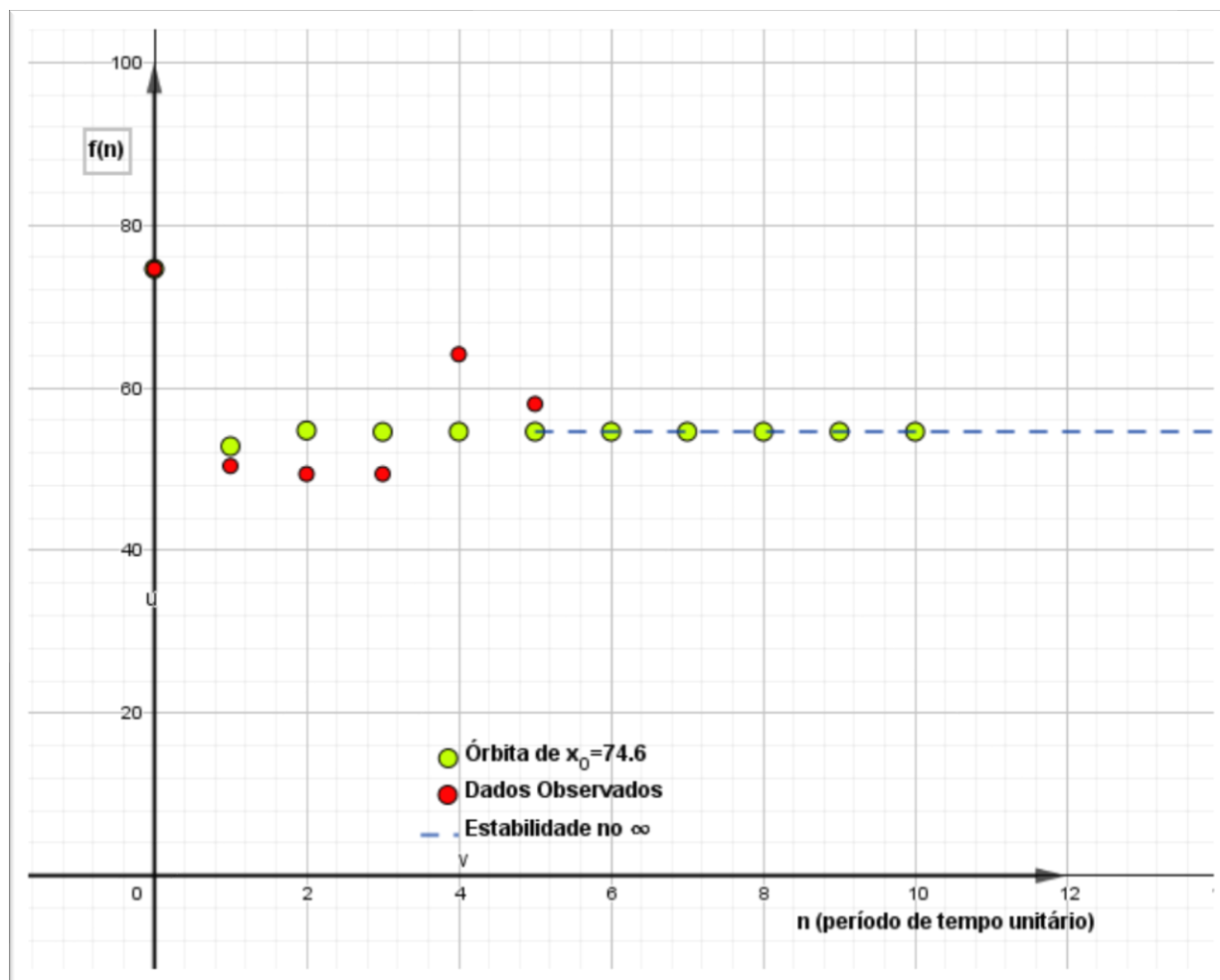
Figura 18 - Análise bivariada para porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido com o controle.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 19), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 19 – Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento controle para a porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido



Fonte: Dados da pesquisa.

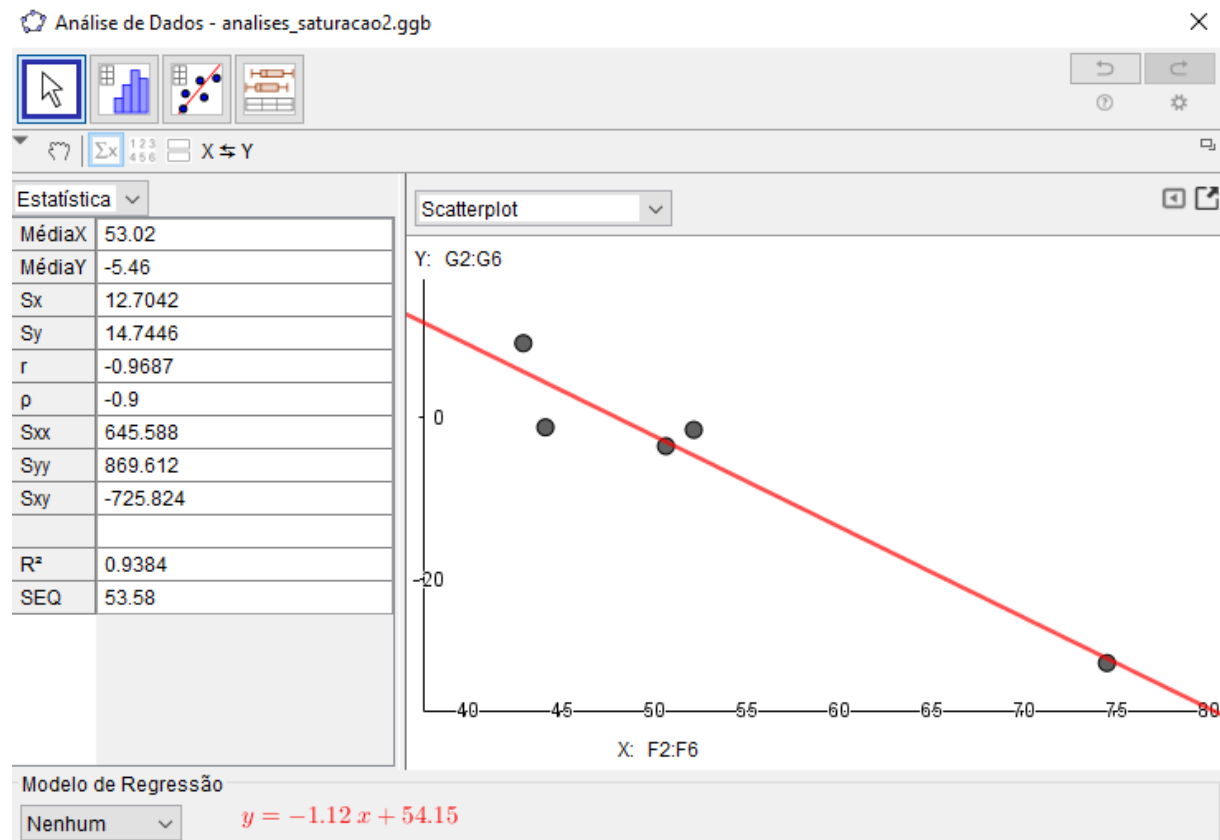
Continuando com o parâmetro porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, agora referente a *L. hexandra*, procedemos da mesma forma que foi feita para os tratamentos anteriores: utilizando a análise bivariada do GeoGebra, obtemos a reta de ajuste dada por

$$y = - 1,12 x + 54.15$$

mostrada na Figura 20 junto com o diagrama de dispersão dos pontos $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$.

A órbita $x_0 = 74.6$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n)=(0.12)^n (74.6+48.35)+48.35$. Nesse caso a condição $|a+1|<1$ é satisfeita, porque $|a+1|=0.12<1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e=48.35$.

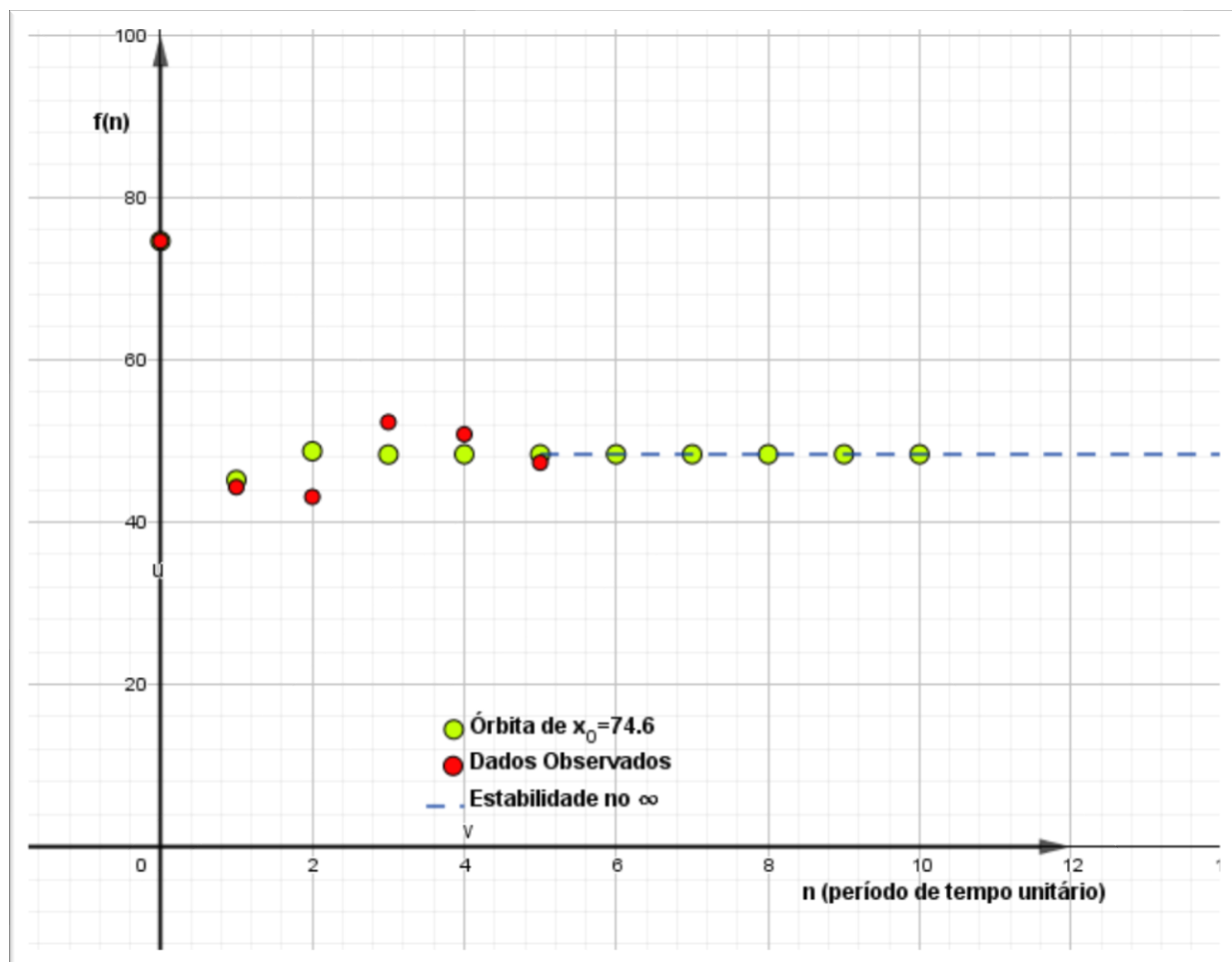
Figura 20 - A análise bivariada da porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido para o tratamento com *Leersia hexandra*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 21), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 21 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para o tratamento com *Leersia hexandra* para a porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido.



Fonte: Dados da pesquisa.

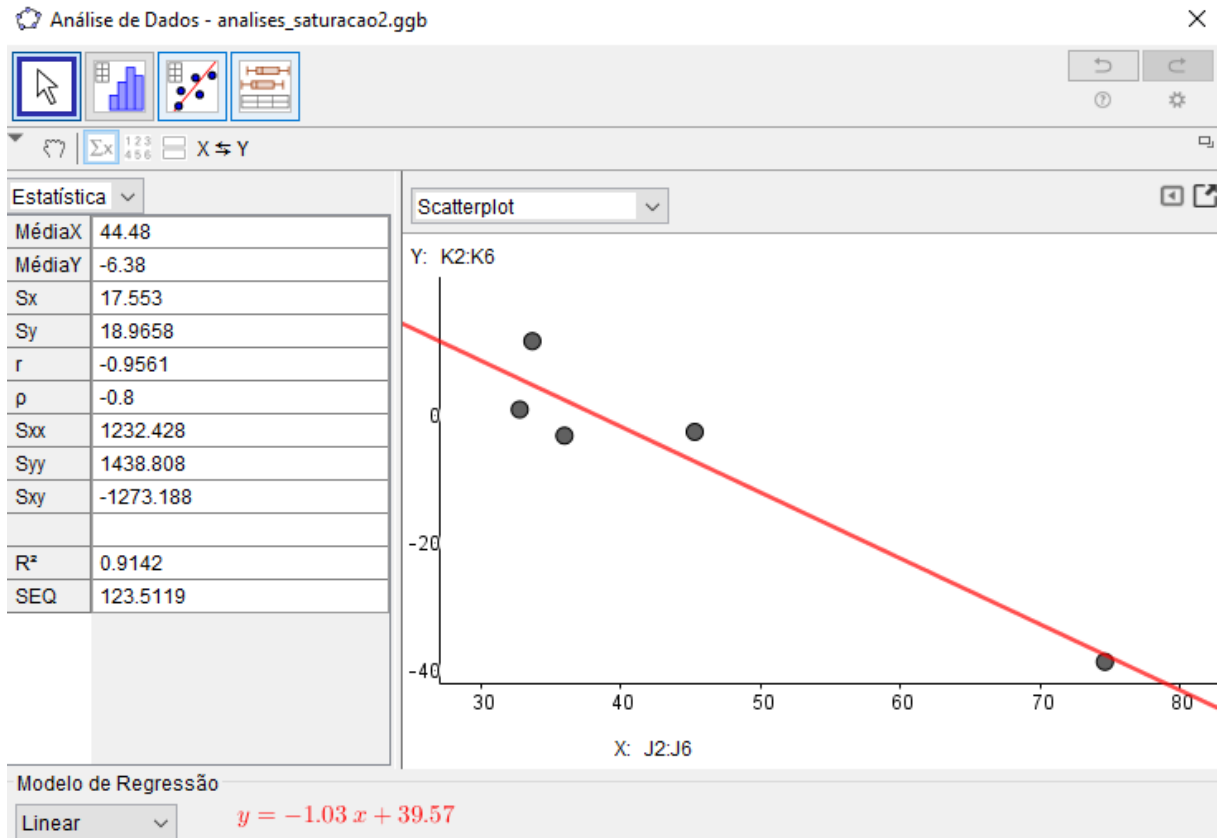
No parâmetro porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, agora referente a *H. costata*, procedemos da mesma forma que foi feita para os tratamentos anteriores: utilizando a análise bivariada do GeoGebra, obtemos a reta de ajuste dada por

$$y = - 1,03 x + 39.57,$$

mostrada na Figura 22 junto com o diagrama de dispersão dos pontos $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$.

A órbita $x_0 = 74.6$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n)=(0.03)^n (74.6+38.42)+38.42$. Nesse caso a condição $|a+1|<1$ é satisfeita, porque $|a+1|=0.03<1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e=38.42$.

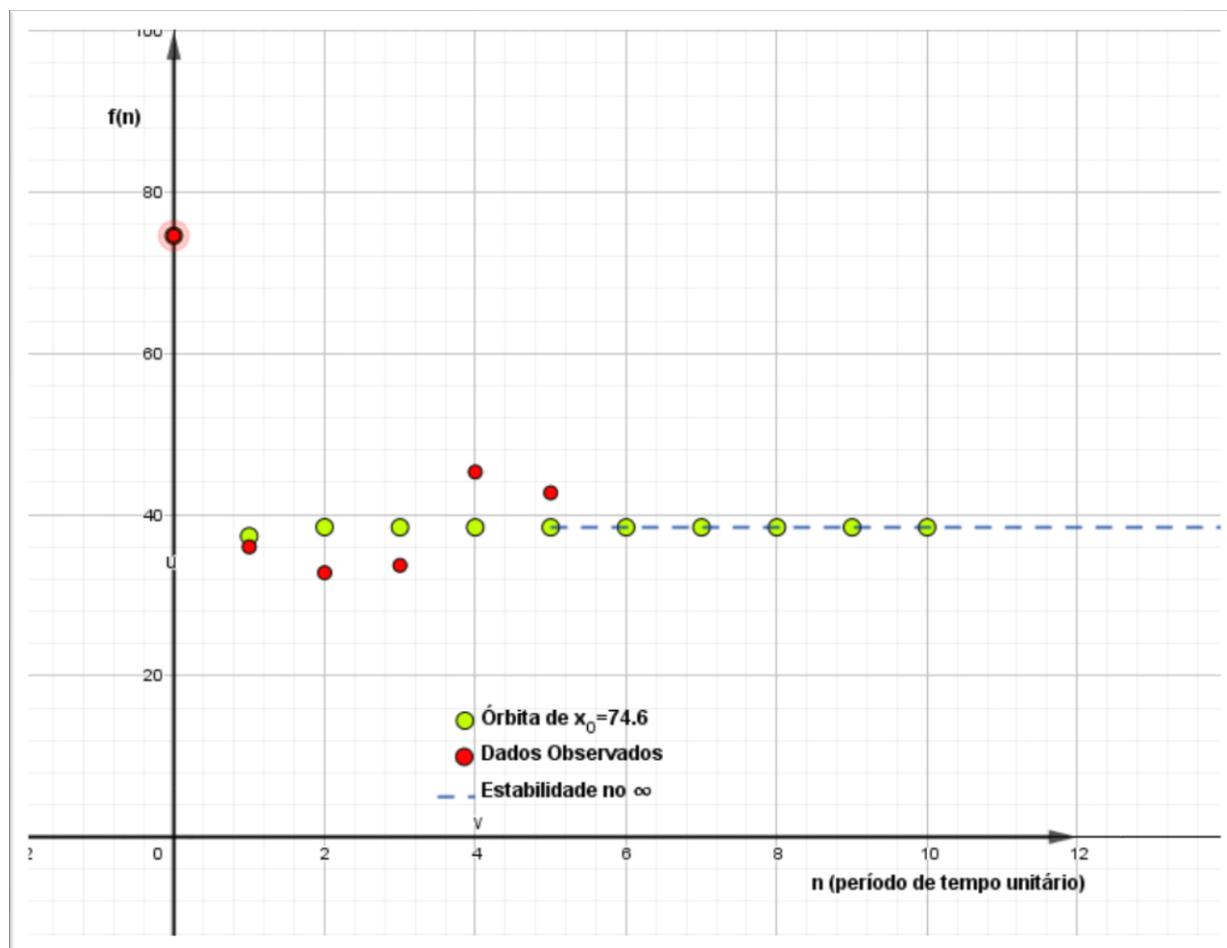
Figura 22 - Análise bivariada da porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido para o tratamento com *Hygrophila costata*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 23), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 23 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para tratamento com *Hygrophila costata* para a porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido.



Fonte: Dados da pesquisa.

Os erros relativos da modelagem da porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido com os tratamentos de controle, *L. hexandra* e *H. costata* (Tabela 19), mostram que a modelagem tem como resultado baixo erro relativo, confirmando a sua eficiência nos dois sentidos propostos por este estudo.

Tabela 19 - Erro cometido na modelagem da saturação pelos diferentes tratamentos

Dia	1	2	3	4	5
Erro de Controle	0.05	0.11	0.1	0.15	0.06
Erro de <i>Leersia</i>	0.02	0.13	0.08	0.05	0.02

Erro <i>Hygrophila</i>	0.04	0.17	0.14	0.15	0.1
-------------------------------	------	------	------	------	-----

Fonte: Dados da pesquisa.

3.3.3. Concentração de oxigênio dissolvido

Para concentração de oxigênio dissolvido, a variação entre os valores dos dados coletados, houve decréscimos nos valores dos dados em relação ao valor anterior; sendo este expresso pela taxa de variação negativa representada pela coluna $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$. A Tabela 20 é organizada da mesma forma que a tabela referente ao parâmetro pH.

Tabela 20 - Dados referentes as análises de concentração de oxigênio dissolvido.

	Controle		<i>Leersia</i>		<i>Hygrophila</i>	
Dia da coleta	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$
25/09/17	5,57	-1,43	5,57	-1,96	5,57	-2,66
28/09/17	4,14	-0,07	3,61	-0,07	2,91	-0,22
30/09/17	4,07	-0,17	3,54	0,58	2,69	-0,01
02/10/17	3,9	1,26	4,12	-0,08	2,68	1,01
04/10/17	5,16	-0,47	4,04	-0,34	3,69	-0,32
06/10/17	4,69		3,7		3,37	

Fonte: Dados da pesquisa.

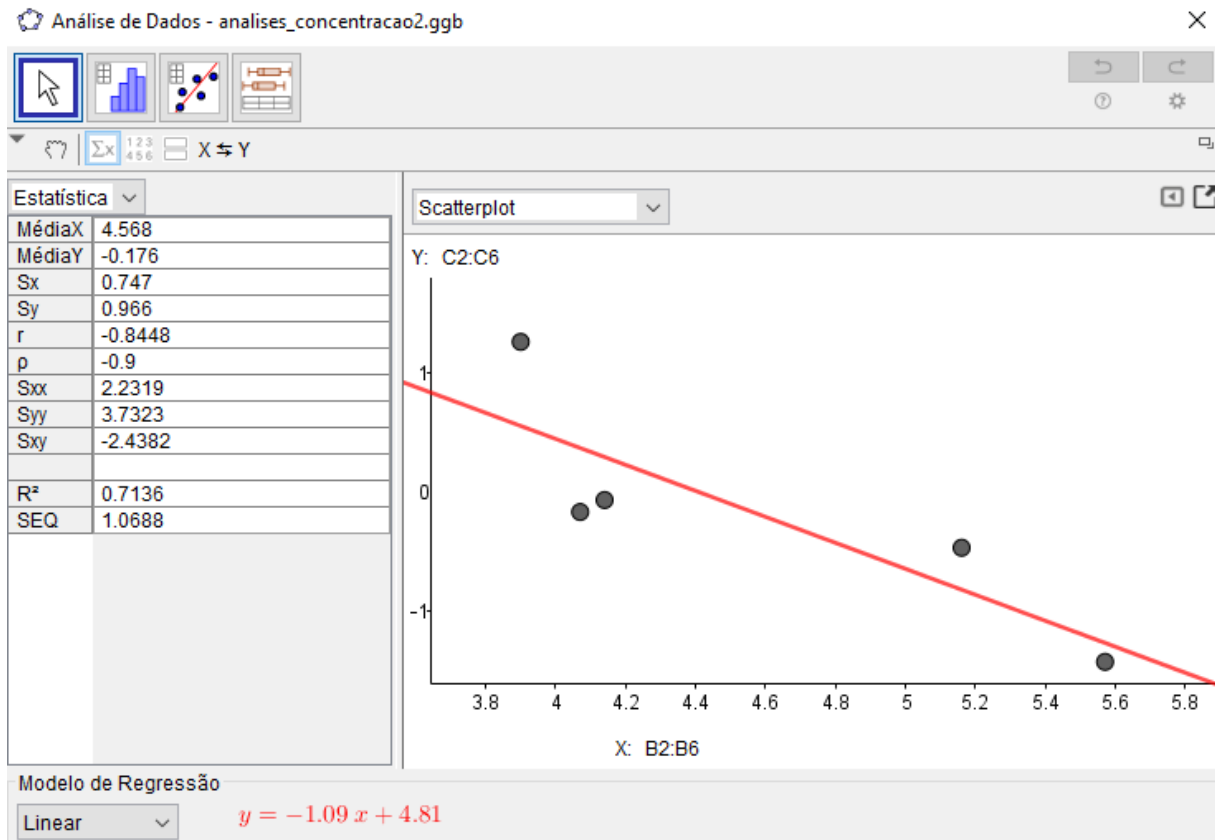
Com o tratamento do controle, a reta de ajuste vem dada pela fórmula

$$y = -1,09x + 4.81$$

O diagrama de dispersão e o gráfico da reta de ajuste são mostrados na Figura 24.

A órbita $x_0 = 5.57$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n) = (0.09)^n (5.57 + 4.41) + 4.41$. Nesse caso a condição $|a+1| < 1$ é satisfeita, porque $|a+1| = 0.09 < 1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e = 4.41$.

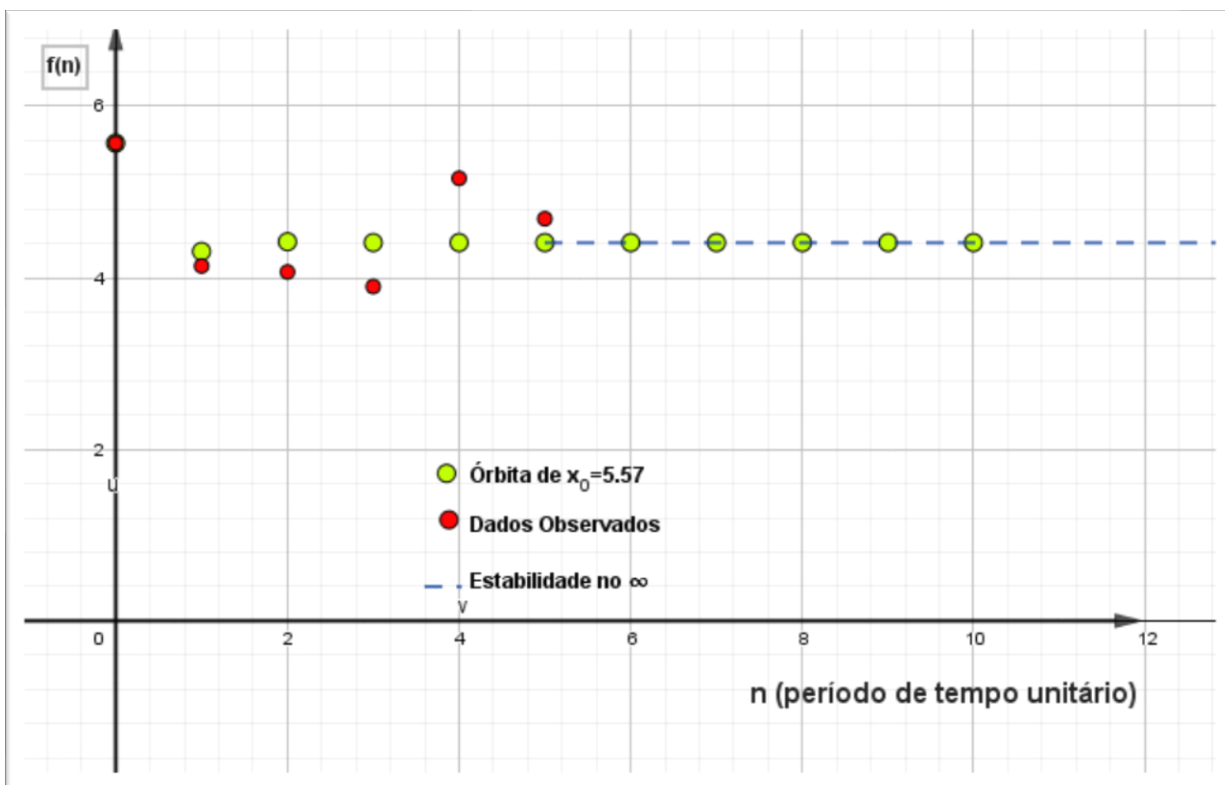
Figura 24 - O resultado da análise bivariada para concentração de oxigênio dissolvido para o tratamento com o controle: a reta da ajuste junto com o diagrama de dispersão dos pontos analisados.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 25), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 25 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para o tratamento controle para a concentração de oxigênio dissolvido.



Fonte: Dados da pesquisa.

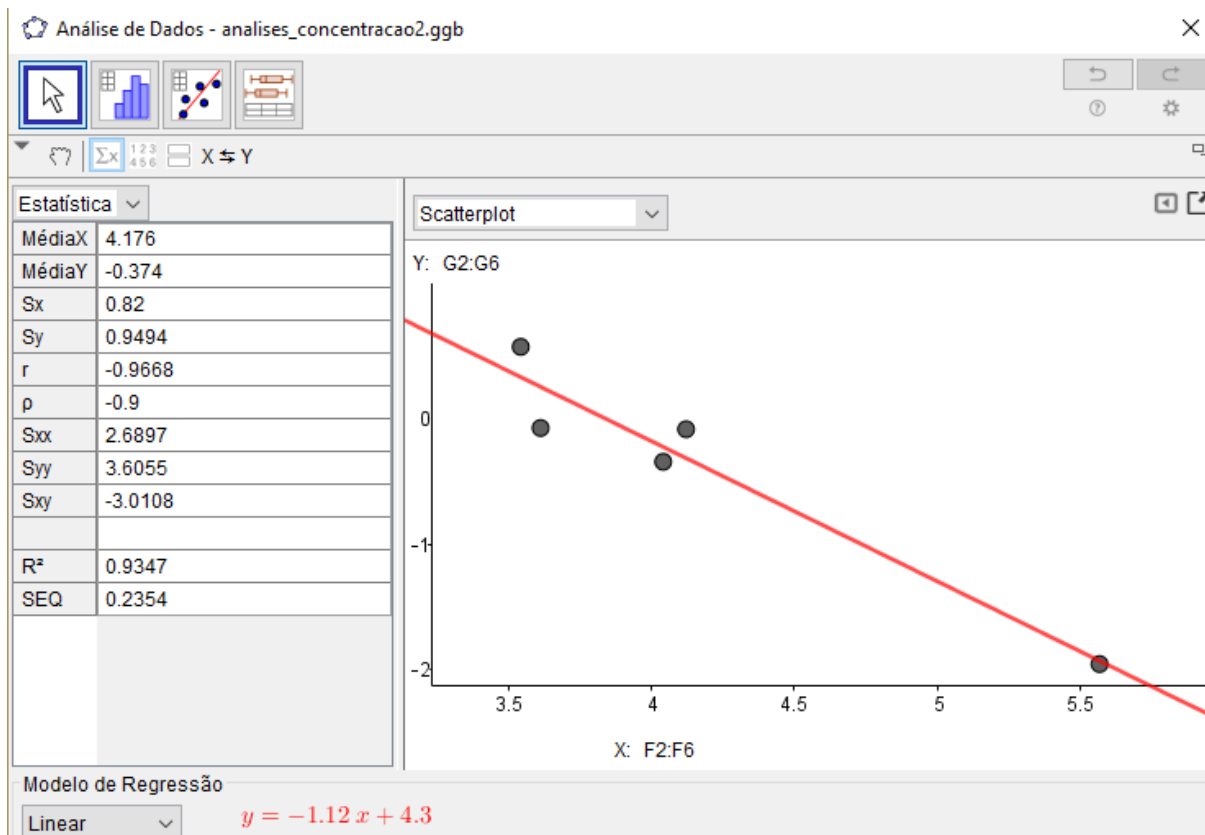
No parâmetro concentração de oxigênio dissolvido, agora referente a *L. hexandra*, procedemos da mesma forma que foi feita para os tratamentos anteriores: utilizando a análise bivariada do GeoGebra, obtemos a reta de ajuste dada por

$$y = - 1,12 x + 4.3,$$

mostrada na Figura 26 junto com o diagrama de dispersão dos pontos $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$.

A órbita $x_0 = 5.57$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n) = (0.12)^n (5.57 + 3.84) + 3.84$. Nesse caso a condição $|a+1| < 1$ é satisfeita, porque $|a+1| = 0.12 < 1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e = 3.84$.

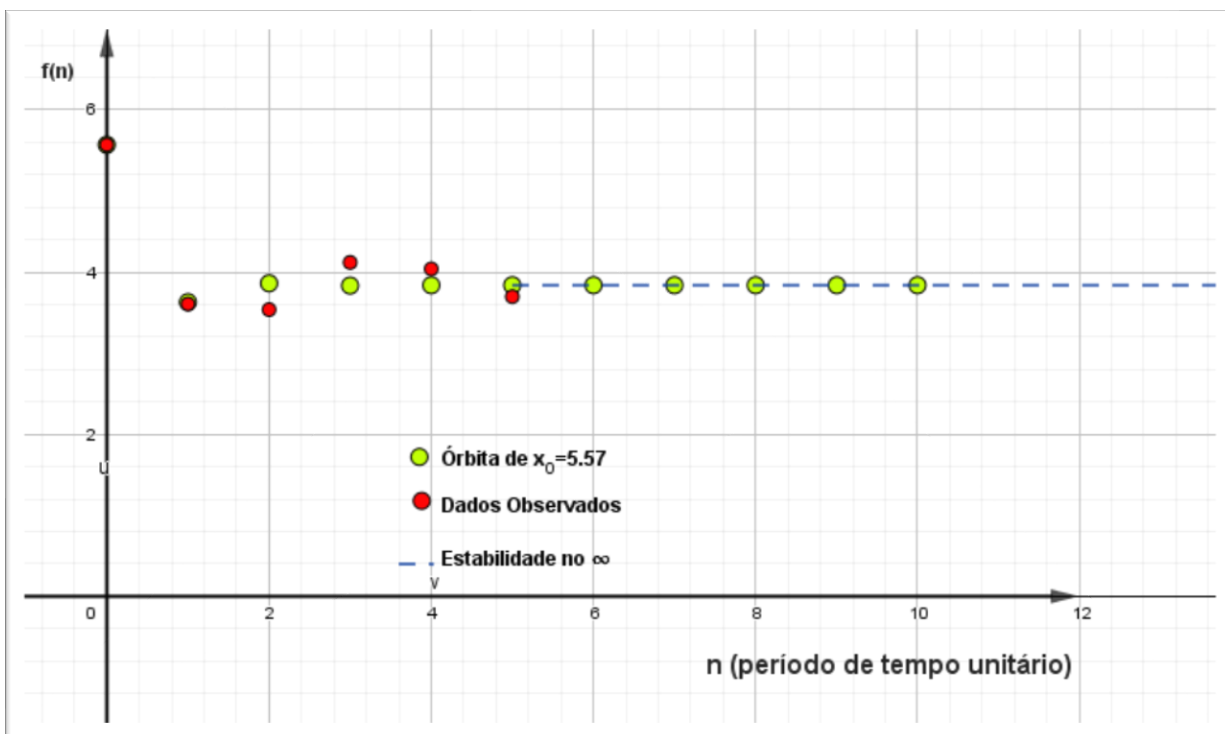
Figura 26 - A análise bivariada da concentração de oxigênio dissolvido para o tratamento com *Leersia hexandra*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 27), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 27 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para o tratamento com *Leersia hexandra* para a concentração de oxigênio dissolvido



Fonte: Dados da pesquisa.

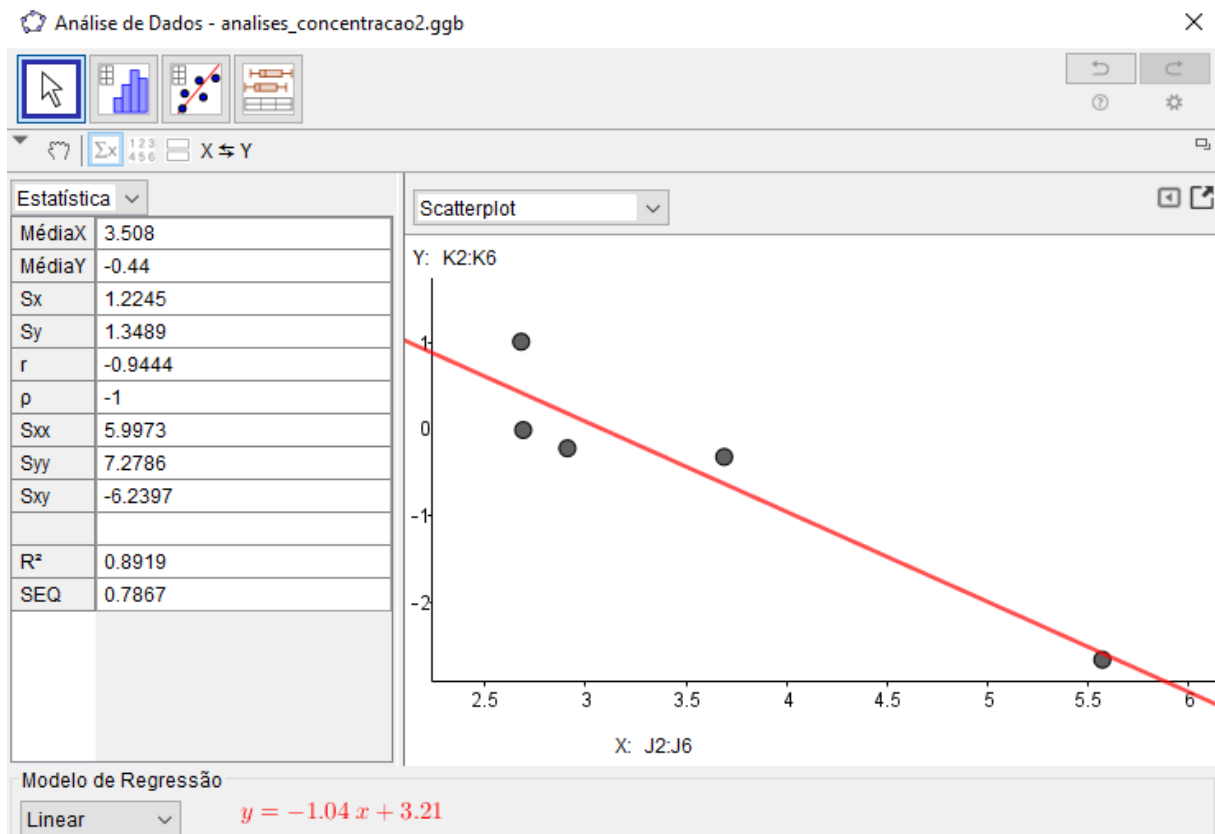
Continuando com o parâmetro porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, agora referente a *H. costata*, procedemos da mesma forma que foi feita para os tratamentos anteriores: utilizando a análise bivariada do GeoGebra, obtemos a reta de ajuste dada por

$$y = -1,04x + 3,21,$$

mostrada na Figura 28 junto com o diagrama de dispersão dos pontos $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$.

A órbita $x_0 = 5.57$ foi obtida, aplicando a fórmula da equação: $f(n) = (0.04)^n (5.57 + 3.08) + 3.08$. Nesse caso a condição $|a+1| < 1$ é satisfeita, porque $|a+1| = 0.04 < 1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e = 3.08$.

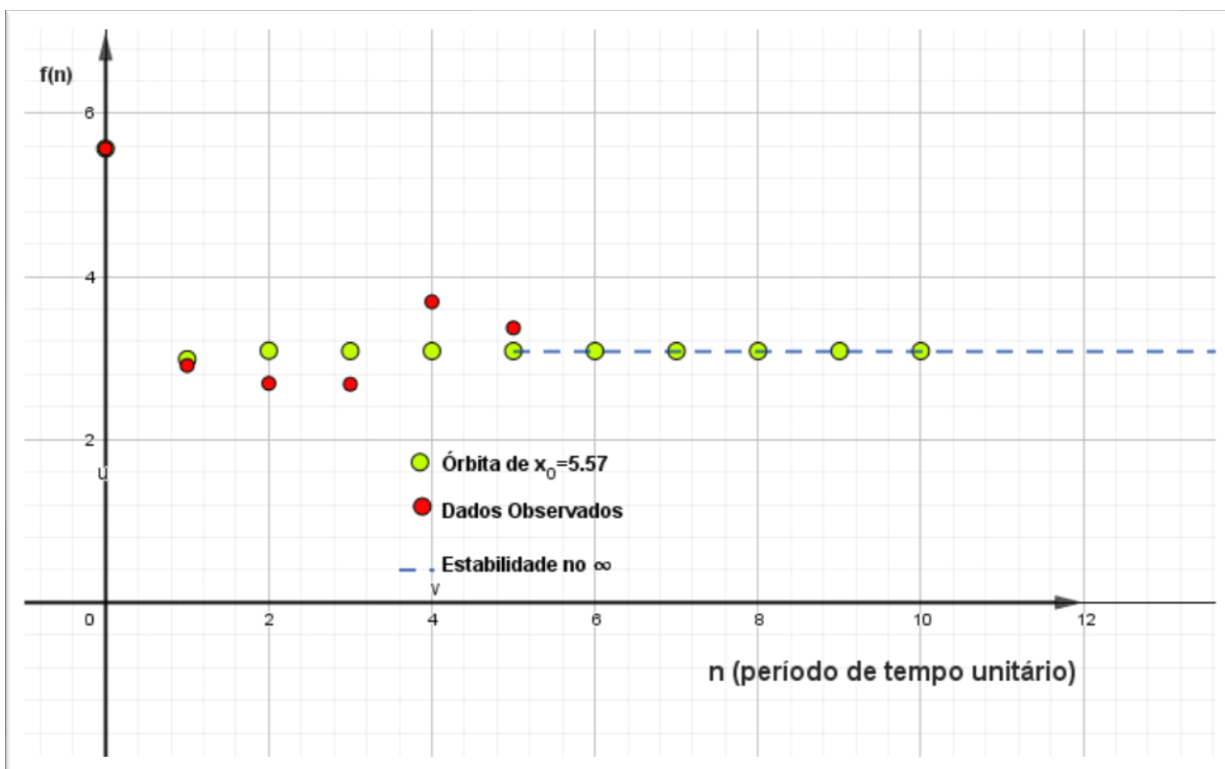
Figura 28 - A análise bivariada da concentração de oxigênio dissolvido para o tratamento com *Hygrophila costata*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 29), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 29 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito para o tratamento com *Hygrophila costata* para a concentração de oxigênio dissolvido



Fonte: Dados da pesquisa.

Os erros relativos da modelagem da concentração de oxigênio dissolvido com os tratamentos de controle, *L. hexandra* e *H. costata* (Tabela 21), mostram que a modelagem tem como resultado baixo erro relativo, confirmando a sua eficiência nos dois sentidos propostos por este estudo.

Tabela 21 - Erro cometido na modelagem da concentração pelos diferentes tratamentos.

Dia	1	2	3	4	5
Erro de Controle	0.04	0.09	0.13	0.14	0.06
Erro de <i>Leersia</i>	0.01	0.09	0.07	0.05	0.04
Erro <i>Hygrophila</i>	0.03	0.15	0.15	0.16	0.08

Fonte: Autores

3.3.4. Sólidos totais

Para a concentração de sólidos totais, a variação entre os valores dos dados coletados, houve decréscimos nos valores dos dados em relação ao valor anterior; sendo este expresso pela taxa de variação negativa representada pela coluna $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$. A Tabela 22 é organizada da mesma forma que a tabela referente ao parâmetro pH.

Tabela 22 - Dados referentes as análises de sólidos totais.

	Controle		<i>Leersia</i>		<i>Hygrophila</i>	
Dia da coleta	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$	x_n	$x_{n+1} - x_n$
25/09/17	69	710	69	1332	69	626
28/09/17	779	-67	1401	-523	695	0
30/09/17	712	-65	878	-90	695	-67
02/10/17	647	-162	788	-170	628	-133
04/10/17	485	14	618	-10	495	7
06/10/17	499		608		502	

Fonte: Dados da pesquisa.

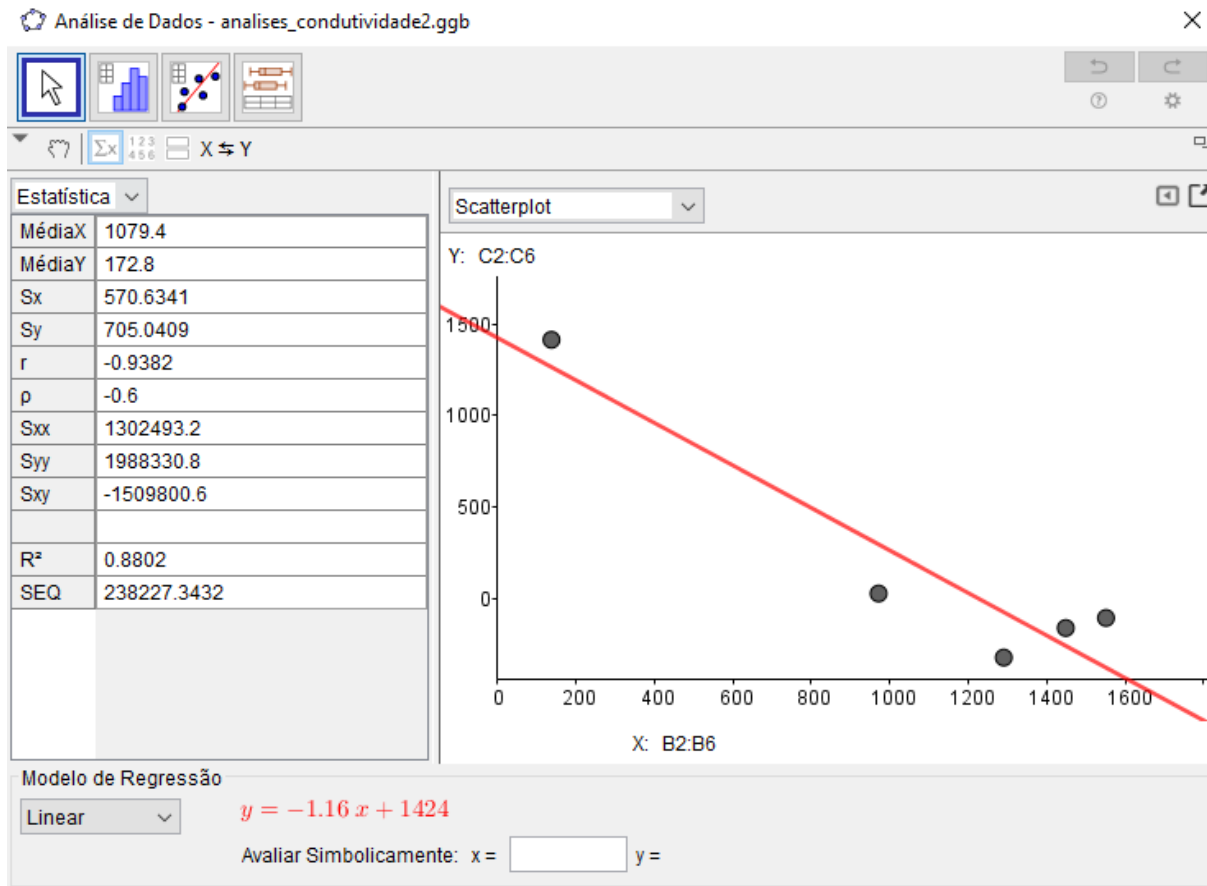
Com o tratamento do controle, a reta de ajuste vem dada pela fórmula

$$y = - 1,17 x + 717.76$$

O diagrama de dispersão e o gráfico da reta de ajuste são mostrados na Figura 30.

A órbita $x_o = 69$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n)=(0.17)^n (69+613.47)+613.47$. Nesse caso a condição $|a+1|<1$ é satisfeita, porque $|a+1|=0.17<1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e=613.47$.

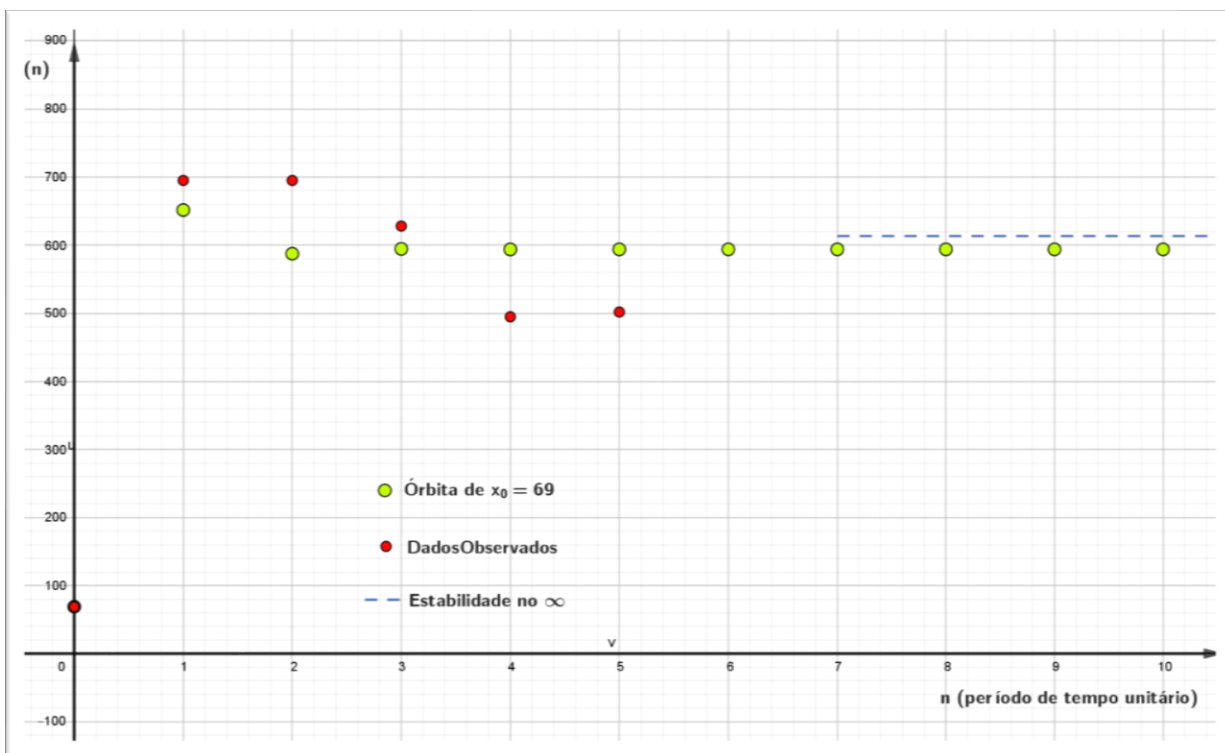
Figura 30 - Análise bivariada para sólidos totais para o tratamento com o controle



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 31), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 31 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com controle para sólidos totais



Fonte: Dados da pesquisa.

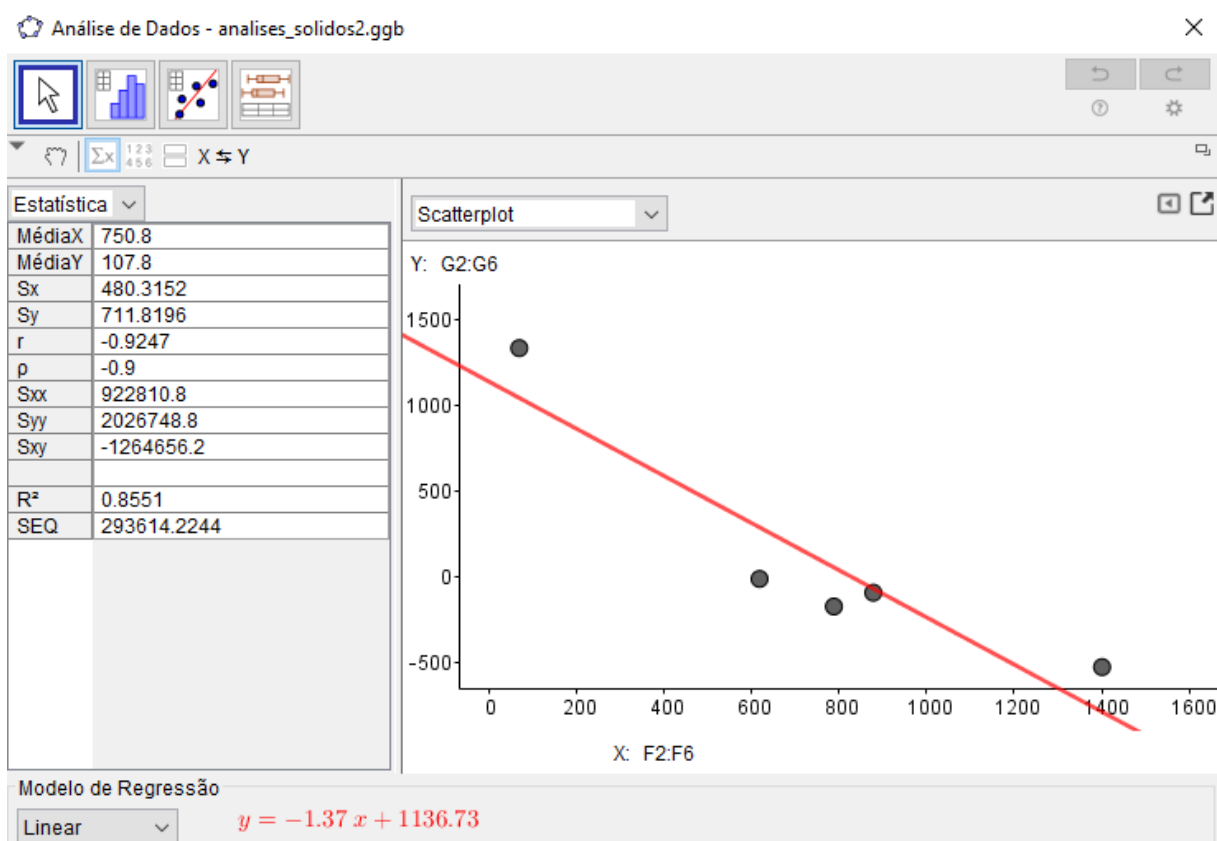
Continuando com o parâmetro sólidos totais, agora referente a *L. hexandra*, procedemos da mesma forma que foi feita para os tratamentos anteriores: utilizando a análise bivariada do GeoGebra, obtemos a reta de ajuste dada por

$$y = - 1,37 x + 1136.73,$$

mostrada na Figura 32 junto com o diagrama de dispersão dos pontos $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$.

A órbita $x_0 = 69$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n)=(0.37)^n (69+829.73)+829.73$. Nesse caso a condição $|a+1|<1$ é satisfeita, porque $|a+1|=0.37<1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e=829.73$.

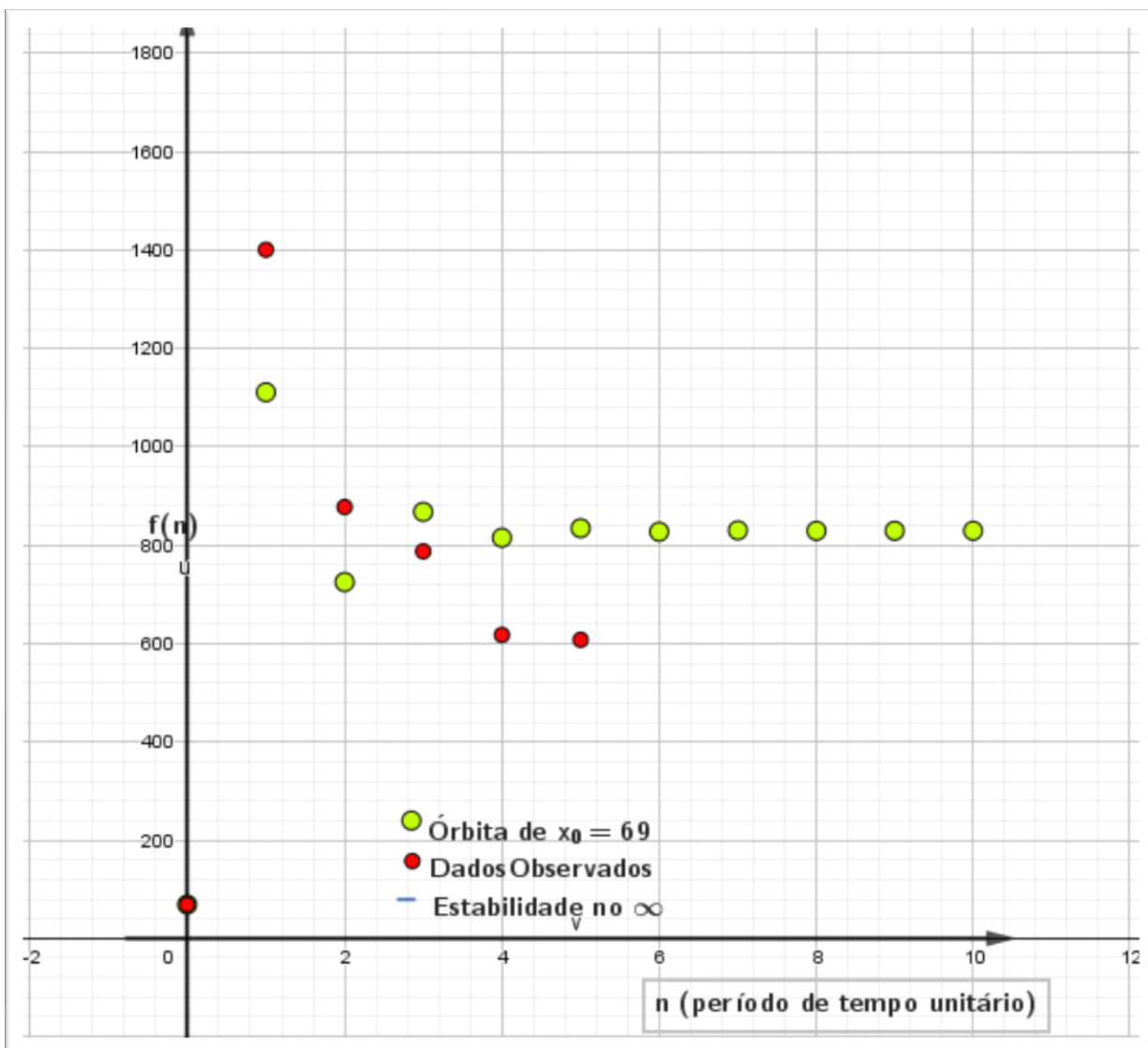
Figura 32 - A análise bivariada de sólidos totais para o tratamento com *Leersia hexandra*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 33), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 33 - Gráfico de $f(n)$, diagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Leersia hexandra* para sólidos totais



Fonte: Dados da pesquisa.

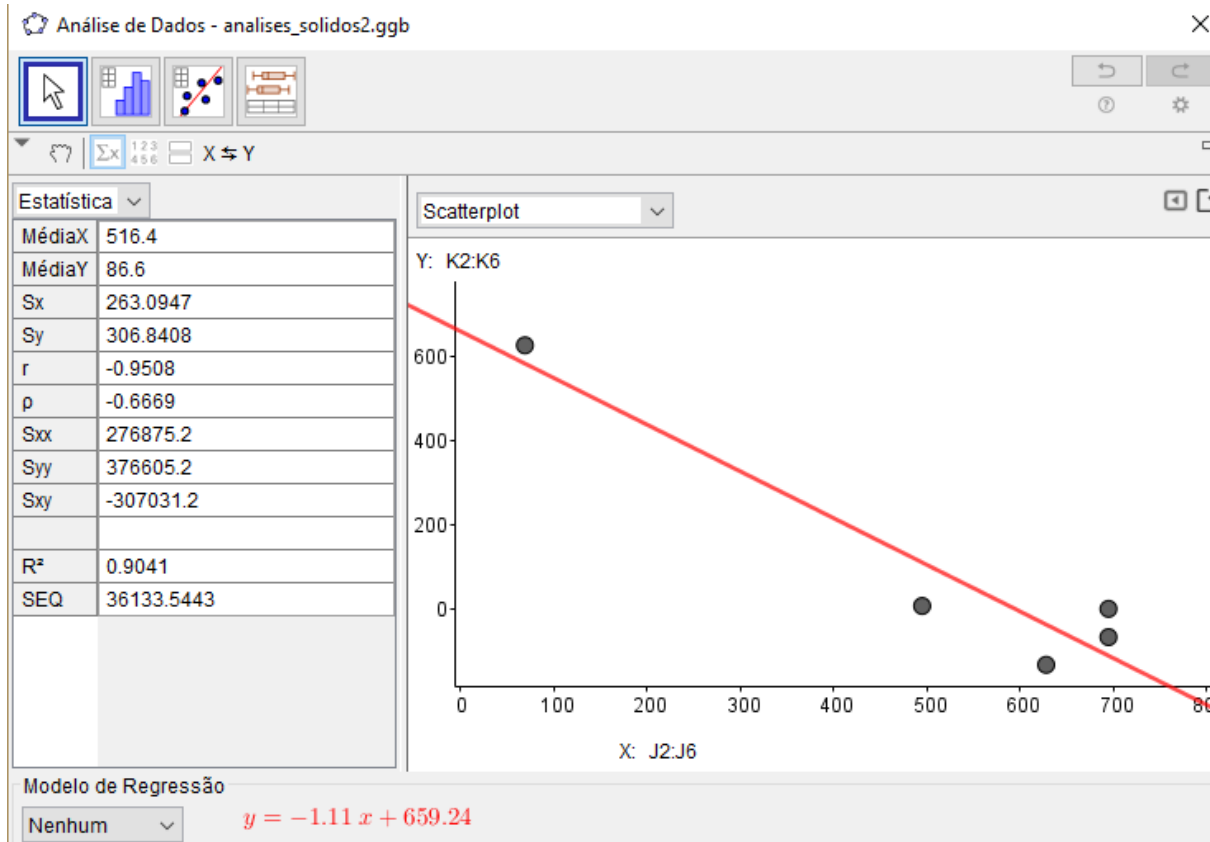
No parâmetro sólidos totais, agora referente a *H. costata*, procedemos da mesma forma que foi feita para os tratamentos anteriores: utilizando a análise bivariada do GeoGebra, obtemos a reta de ajuste dada por

$$y = - 1,11 x + 659.24$$

mostrada na Figura 34 junto com o diagrama de dispersão dos pontos $(x_n, x_{(n+1)} - x_n)$.

A órbita $x_0 = 69$ foi obtida, aplicando a formula da equação: $f(n)=(0.11)^n (69+593.91)+593.91$. Nesse caso a condição $|a+1|<1$ é satisfeita, porque $|a+1|=0.11<1$ e conclui que o sistema autônomo é estável no infinito com ponto de equilíbrio $e=593.91$.

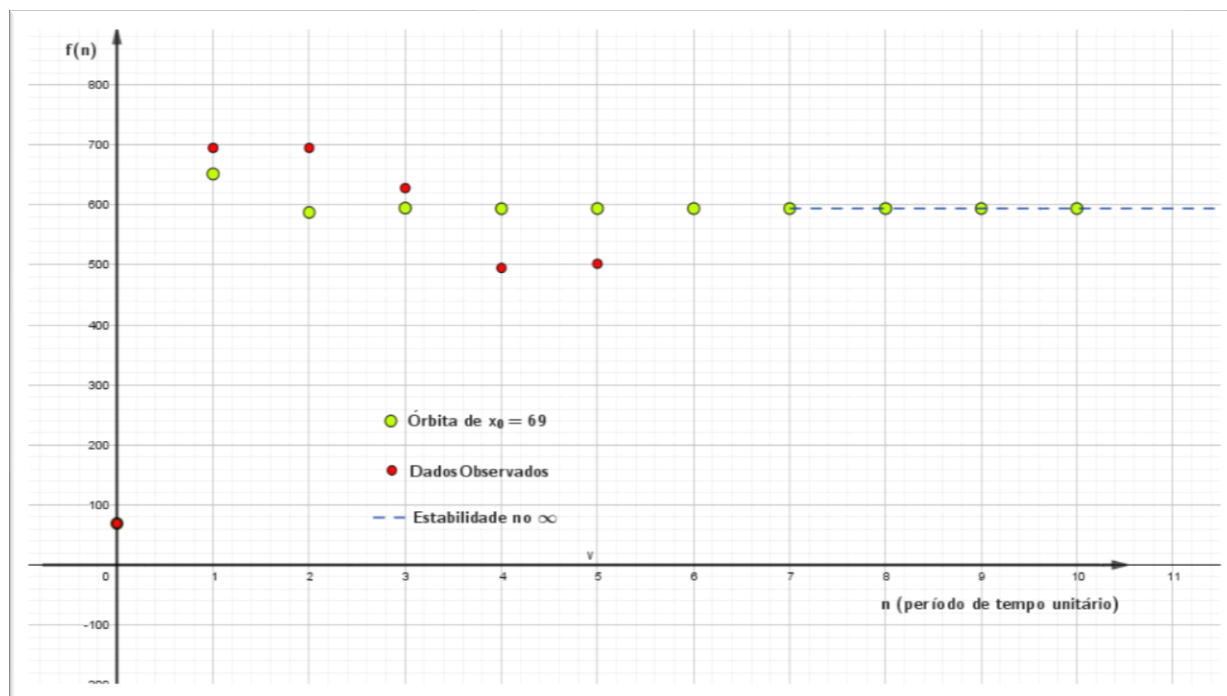
Figura 34 - A análise bivariada de sólidos totais para o tratamento com *Hygrophila costata*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado da modelagem (Figura 35), apresenta os dados coletados, a órbita de x_0 e o ponto de equilíbrio no infinito são apresentados no mesmo gráfico.

Figura 35 - Gráfico de $f(n)$, rdiagrama de dispersão dos dados experimentais e o ponto de equilíbrio no infinito referente ao tratamento com *Hygrophila costata* para sólidos totais



Fonte: Dados da pesquisa.

Os erros relativos da modelagem de sólidos totais com os tratamentos de controle, *L. hexandra* e *H. costata* (Tabela 23), mostram que a modelagem tem como resultado baixo erro relativo, confirmando a sua eficiência nos dois sentidos propostos por este estudo.

Tabela 23 - Erro cometido na modelagem dos sólidos pelos diferentes tratamentos

Dia	1	2	3	4	5
Erro de Controle	0.09	0.16	0.05	0.26	0.23
Erro de <i>Leersia</i>	0.21	0.17	0.1	0.32	0.37
Erro <i>Hygrophila</i>	0.06	0.15	0.05	0.2	0.18

Fonte: Dados da pesquisa.

4. CONCLUSÃO

Em relação ao parâmetro de pH, pode-se concluir que não houve uma grande variação entre os efluentes de entrada e de saída em nenhum dos tratamentos, mantendo-se dentro dos padrões estabelecidos na legislação vigente. Para os valores dos outros parâmetros analisados considera-se que estavam acima dos limites aceitáveis.

Na análise dos metais pesados, os parâmetros de Alumínio, Potássio e Vanádio estão com valores acima do que é permitido por Lei. Já os elementos Bário, Cromo, Cobalto, Cobre, Chumbo, Ferro, Lítio, Magnésio, Manganês e Zinco apresentaram acréscimo no efluente de saída, mas ainda assim permanecem em conformidade com os padrões estabelecidos.

O fato dos efluentes de saída apresentarem valores maiores do que os de entrada pode estar atrelado ao desprendimento dos resíduos da parte biológica do leito e as dinâmicas entre a microbiota e a rizosfera das espécies vegetais durante a degradação da matéria orgânica.

Os resultados da modelagem matemática podem ser considerados positivos, pois para todos os parâmetros em todos os tratamentos, com exceção do pH no leito controle, o erro relativo entre os dados coletados e o resultado do modelo de diferenças finitas foi baixo. Isso corrobora a estabilidade da dinâmica dos fenômenos observados, assim como permite a utilização do modelo obtido como fonte de identificação de valores ou como predição de valores futuros.

Para o parâmetro pH no leito controle, como não atendeu a condição para estabilidade, não foi possível obter uma previsão dos valores futuros nem determinar a estabilidade do sistema.

Esse trabalho também proporcionou o aprendizado a respeito de parâmetros indicadores de qualidade, análises estatísticas, modelagem matemática, entre outras formas de estudo. A interdisciplinaridade do projeto possibilitou uma demonstração de como diversas áreas podem se relacionar em prol da obtenção de resultados sobre um determinado assunto.

5. REFERÊNCIAS

- ALBERTI, G., D'Agostino, G., Palazzo, G., Biesuz, R., Pesavento, M. (2005). Aluminium speciation in natural water by sorption on a complexing resin. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 1779-1787.
- ARAL, H., VECCHIO_SADUS, A. Toxicity of lithium to humans and the environment – a literature review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Clayton South, V70, p 349-356, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 10703: Degradação do Solo – Terminologia**. P.45. 1989.
- AYRES, R. S., WETSCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Water Quality for Agriculture. Tradução H. R. Ghety e J. F. de Medeiros, UFPB, Campina Grande-PB. 1991. 217p.
- AYRES, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Estudos, irrigação e drenagem, 29. Revisado 1ª e 2ª edições. Tradução H. R. Ghety e J. F. de Medeiros, UFPB, Campina Grande-PB, 1999. 153p.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, 2011. Brasília. p.89.
- BRIGANTE, J., ESPINDOLA, E. L. G. **Limnologia Fluvial**. Um estudo no rio Mogi-Guaçu. RIMA, 2003. 278p.
- CALIJURI, M.C., CUNHA, D.G.F. Engenharia Ambiental: conceito, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, p.789. 2013.
- CELERE, M. S.; OLIVEIRA, A. S.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para a saúde pública. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 23, 4, 939-947, abril 2007.
- CHENG, A.G. 1979 The effects of fertilization on nitrogen distribution in a *Spartina alterniflora* salt marsh. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 8: 327-337.
- CLEMENT, B., JANSSEN, R. C., DÛ- DELEPIERRE, A. Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates. *Chemosphere*, v.35, n.11, p.2783-2796, 1997.
- COELHO, M. G., SANTOS, L. P., SANTOS, C. L., ANDRADE, S. M. A. *Utilização de processos oxidativos avançados (POAs) no tratamento de líquidos percolados provenientes do aterro sanitário de Uberlândia-MG/Brasil*. 2002. 6f. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- COSTA, B. S., RIBEIRO, J. C. J. Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: direitos e deveres. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2013.
- DIAS, L. E., ÁLVAREZ, V. H. V. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG. UFV. 1996. 240p.
- DIAS, S. G. O desafio da gestão de resíduos sólidos urbanos. **Sociedade e gestão**. V.11, p.16-20, 2012.

- DOTY, S.L. Enhancing phytoremediation through the use of transgenics and endophytes. *New Phytologist*, v. 179, n. 2, p. 318-333, 2008.
- FERREIRA, D. A., ROSOLEN, V. Disposição de resíduos sólidos e qualidade dos recursos hídricos no município de Uberlândia/MG. *Horizonte Científico*, Uberlândia, 6, 1, Agosto, 2012.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFPA)**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FERREIRA, J. A., et al., **Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do Estado do Rio de Janeiro**. In: XXI Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, João Pessoa, PB: ABES – Trabalhos técnicos, 2001. 9p.
- GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO). Rio de Janeiro, 2012.
- KNIGHT, R.L., KADLEC, R.H., OHLENDORF, H.M. 1999 The use of treatment wetlands for petroleum industry effluents. *Environ. Sci. Tech.*, 33(7): 973-980.
- LIMA, L.M.Q. Lixo – Tratamento e Biorremediação. 3ª Edição. São Paulo: hemus, 1995.
- LINS, M. C. M. *Avaliação microbiológica e fitotóxica do chorume da estação de tratamento do aterro da Muribeca-PE*. 2005. 107f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.
- OLIVEIRA, Z. L. *Avaliação do uso da MORINGA OLEÍFERA LAM para fitorremediação e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. 2010. 142f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
- PLENTZ, J. B. W., *Avaliação e instalação de um sistema wetland construído para tratamento de chorume no aterro sanitário de Lajeado/RS*. 2014. 92f. Trabalho de conclusão de curso – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Uberlândia. Uberlândia: 2013.
- REICHERT, G. A. *A vermicompostagem aplicada ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário*. 1999. 59f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1999.
- REIS, L. S., CHAVES, L. S. S. Contaminação do Rio Chumucuí por líquidos percolados (chorume) oriundos do lixão da cidade de Bragança, Pará. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia, 2012.
- SALATI, E. **Controle de qualidade de água traves de sistema wetland construído**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Rio de Janeiro, 2006. 19p.
- SALT, D.E., SMITH, R.D., RASKIN, I. Phytoremediation. Annual review of plant physiology. *Plant Molecular Biology*, The Netherlands, v.49.p.643-668, 1998.
- SANTOS, A. F. M.S. *Caracterização, avaliação da biodegradabilidade aeróbica e anaeróbica e tratamento em reator UASB do chorume do aterro da Muribeca*. 2003. 188f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

SCHNOOR, J.L., LICHT, L.A., MCCUTCHEON, S.C., WOLFE, L.N., CARREIRA, L.H. (1995). Phytoremediation of organic and nutrient contaminants, *Environ., Sci. and Technol.*, **29(7)**: 318-323 A.

SERAFIM, A. C., GUSSAKOV, K. C., SILVA, F., CONEGLIAN, C. M. R., BRITO, N. N., SOBRINHO, G. D., TONSO, S., PELEGRINI, R. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento. **III Fórum de Estudos Contábeis**. Rio Claro, SP. 2003. 7f.

SILVA, J.W.; GUIMARÃES, E.C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v.27, n.3, p.665-674, 2003.

STEARNS, J.C. et al. Increasing Plant Tolerance to Metals in the Environment. *Phytoremediation Methods in Biotechnology* v. 23, p. 15-26, 2007.

ZOUBOULIS, A. I., CHAI, X-L., KATSOYIANNIS, I. A. The application of bioflocculant for the removal of humic acids from stabilized landfill leachates. **Journal of Environmental Management**. V.70, p.35-41, 2004.