

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

JOÃO KARLOS LOCASTRO

**INCORPORAÇÃO DE TECIDOS VEGETAIS CONTAMINADOS
POR CROMO EM BLOCOS CERÂMICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

JOÃO KARLOS LOCASTRO

**INCORPORAÇÃO DE TECIDOS VEGETAIS CONTAMINADOS
POR CROMO EM BLOCOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da Coordenação de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão.

Orientadora: Dr. Sônia Barbosa de Lima
Co-orientadora: Dr. Débora Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

INCORPORAÇÃO DE TECIDOS VEGETAIS CONTAMINADOS POR CROMO EM BLOCOS CERÂMICOS

por

JOÃO KARLOS LOCASTRO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 25 de fevereiro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Sônia Barbosa de Lima
Prof^a. Orientadora

Débora Cristina de Souza
Prof^a. Co-orientadora

Morgana Suszek Gonçalves
Membro titular

Elizabete Satsuki Sekine
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental-

Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Não importa quais sejam os obstáculos e as dificuldades. Se estamos possuídos de uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.
(Dalai-Lama)

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora, por guiarem meus caminhos, me darem forças, por protegerem minha vida e por me conduzirem a um destino concretizado em paz, sabedoria e inúmeras graças.

Aos meus pais Hilda e João, que me ensinaram que a conquista se dá a cada passo, que não há barreiras a quem luta e que o amor nos uni e nos mantêm forte mesmo que ainda estejamos longe.

Aos meus padrinhos Rui e Alice, edificadores desta formação, testemunhos de cada batalha e do esforço até aqui exercido.

Ao meu amigo João Victor Gomes Felício, um irmão presente, que com suas palavras sempre me apoiou e jamais hesitou em ajudar diante de cada dificuldade.

A minha amiga Giliane Gessica Rasbold, por estar presente em minha vida acadêmica, por ter me feito crescer e descobrir que com dedicação, fé e esforço não haverá limites.

Aos companheiros Lucas Ricardo Rodrigues Simões e Geórgia Campana Murari, por fazerem parte de minha formação e por contribuírem na construção de mais um sonho.

A minha orientadora Sônia Barbosa de Lima pela amizade, conhecimento compartilhado e dedicação comprovada após tantos anos de ensinamento.

A minha co-orientadora professora Débora Cristina de Souza, que em muito contribuiu para realização desta pesquisa, me apoiando e disponibilizando novos conhecimentos.

Ao técnico de laboratório Maiko Cristian Sedoski, por toda contribuição, pelos esforços sem limites e pela paciência desempenhada durante a realização do experimento.

Enfim, obrigado a todos que fazem parte de meus caminhos e que de alguma forma, são idealizadores de cada conquista.

RESUMO

LOCASTRO, João K. **Incorporação de tecidos vegetais contaminados por cromo em blocos cerâmicos**. 2014. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Em virtude da geração de efluentes do setor industrial, em especial aqueles com a presença de metais, é necessário a elaboração de estudos que atuem na solução do problema. Uma idéia desenvolvida atualmente é a fitorremediação, que envolve o uso de plantas capazes de absorver os poluentes, acumulando-os em seus tecidos. Entretanto, verifica-se que após a aplicação da técnica é necessária a destinação correta do material vegetal contaminado. Desta forma, o trabalho analisou a absorção de cromo III por indivíduos de *Pontederia parviflora* Alexander e *Typha domingensis* Pers e avaliou a incorporação da biomassa contaminada em blocos cerâmicos. Para tanto, testou-se a eficiência de bioacumulação das duas espécies vegetais submetidas a uma concentração de 70,61 mg/L de cromo. Logo após, foram elaborados corpos de prova sem adição de biomassa e com incorporação de 5% e 10% de biomassa contaminada (nas porções aéreas e radiculares separadamente). A remoção de cromo em sistemas de leitos cultivados com *P. parviflora* foi de 47,75%, enquanto que em sistemas cultivados com *T. domingensis* chegou a 95,5%. Os resultados experimentais de retração linear, retração linear pós queima e perda ao fogo, atendem aos critérios estabelecidos pela NBR 7170/1983 para todos os corpos de prova testados. Em relação à resistência à compressão verificou-se que o testemunho sem adição de biomassa e os corpos de prova sintetizados com *T. domingensis* se enquadram na classe A de resistividade, enquanto que os demais estão em desconformidade com o recomendado por literatura. É sugerido ainda que se façam outros testes de resistência, com a utilização de uma nova argila, de forma a se obter maior resistividade para os corpos de prova testados. Quanto à absorção de água, somente corpos de prova sintetizados com 10% de biomassa não atendem aos padrões estipulados pela norma NBR 7171/1992. Os parâmetros de caracterização do material como liquidez e plasticidade permitem classificar o solo como siltes argila altamente plástica. Após teste de lixiviação foi verificada baixa concentração de cromo no lixiviado (concentração < 0,1 mg/Kg), ficando grande parte do composto aderido às partículas sólidas da argila e da biomassa. De forma geral, observa-se que os corpos se enquadram nos parâmetros testados e, portanto, podem ser recomendados como alternativa aplicável para posterior destinação de tecidos vegetais contaminados no fitotratamento.

Palavras-chave: Fitotratamento. Cromo. Reaproveitamento. Blocos cerâmicos.

ABSTRACT

Locastro, João K. **Incorporation of plant tissue contaminated by chromium in ceramic blocks**. 2014. 69 f. Completion of course work (Bachelor of Environmental Engineering) – University Technological Federal of Paraná, Campo Mourão, 2014.

Due to the generation of effluents from the industrial sector, in particular those with the presence of heavy metals, is necessary producing studies that act on the problem. One idea is currently developed phytoremediation, which involves the use of plants capable of absorbing pollutants and accumulate them in their tissues. However, it appears that after application of the technique is required to proper disposal of contaminated plant material. Thus, the study examined the bioaccumulation of III chromium by individuals *Pontederia parviflora* Alexander and *Typha domingensis* Pers and evaluated the incorporation of contaminated biomass in ceramic blocks. Therefore, it was tested the absorption efficiency of two plant species submitted the chromium concentration of 70,61 mg/L. Soon after, specimens without addition of biomass and incorporation of 5% and 10% contaminated biomass (in air and root portions separately) were prepared. The removal of chromium in wetland systems with *P. parviflora* was 47,75%, while in agricultural systems with *T. domingensis* reached 95.5%. The experimental results of some parameters such as linear shrinkage, linear shrinkage after firing and loss on ignition, meet the criteria established by NBR 7170/1983 for all bodies of evidence tested. Regarding the compressive strength it appears that the witness and the bodies of synthesized test with *T. domingensis* fall class A resistivity, while the others are in disagreement with the method recommended by the literature. It is further suggested to make further tests of resistance to the use of new clay, in order to obtain higher resistivity for specimens tested. As for water absorption, only specimens synthesized with 10 % biomass do not meet the standards set by NBR 7171/1992. The parameters characterizing of the material as liquidity and plasticity to classify the soil as highly plastic clay silts. After leaching test is noted that the material exhibits low concentration of chromium in the leachate (concentration < 0.1 mg/Kg), being largely composed of solid particles adhered to the clay and biomass. In general, it is observed that the bodies fit in parameters tested and, therefore may be recommended as an alternative applicable for subsequent disposal of the tissues plant contaminated in Phytotreatment.

Keywords: Phytotreatment. Chromium. Reuse. Ceramic bricks.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Sistemas de leitos cultivados utilizados em ensaio de bioacumulação de cromo..... | 22 |
| Figura 2. Prensa hidráulica (EMIC) utilizada para confecção dos corpos de prova | 25 |
| Figura 3. Sistema de leitos cultivados com <i>T. domingensis</i> após três dias de exposição a uma concentração de 120 mg/L de cromo apresentando folha escuras e início de processo de senescência..... | 27 |
| Figura 4. Sistema de leitos cultivados com <i>P. parviflora</i> após três dias de exposição a uma concentração de 150 mg/L de cromo | 28 |
| Figura 5. Corpos de prova pós queima com destaque para aqueles sintetizados com 10% de folhas de <i>P. parviflora</i> e 10% de raízes de <i>T. domingensis</i> | 40 |
| Figura 6. Gráfico de plasticidade | 47 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Retração linear após secagem do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. | 32 |
| Gráfico 2. Retração linear após secagem do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. | 33 |
| Gráfico 3. Retração linear após queima do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de biomassa folhagem seca. | 34 |
| Gráfico 4. Retração linear após queima do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. | 34 |
| Gráfico 5. Perda ao fogo do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. | 35 |
| Gráfico 6. Perda ao fogo do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. | 36 |
| Gráfico 7. Absorção de água do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. | 37 |
| Gráfico 8. Absorção de água do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. | 38 |
| Gráfico 9. Massa específica aparente do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. | 39 |
| Gráfico 10. Massa específica aparente do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. | 39 |
| Gráfico 11. Resistência à compressão do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. | 40 |
| Gráfico 12. Resistência à compressão do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. | 40 |
| Gráfico 13. Limite de liquidez do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de folhagem seca. | 43 |
| Gráfico 14. Limite de liquidez do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de raízes secas. | 43 |
| Gráfico 15. Limite de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de folhagem seca. | 44 |
| Gráfico 16. Limite de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de raízes secas. | 45 |
| Gráfico 17. Índice de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de folhagem seca. | 46 |
| Gráfico 18. Índice de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de raízes secas. | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Concentração de cromo registrada antes e após processo de tratamento de efluente em leitos cultivados por <i>T. domingensis</i> | 29 |
| Tabela 2. Concentração de cromo registrada antes e após o processo de tratamento de efluente em leitos cultivados por <i>P. parviflora</i> e leito sem a presença de planta | 29 |
| Tabela 3. Balanço de massa dos sistemas de leitos cultivados por <i>T. domingensis</i> após aplicação do tratamento | 30 |
| Tabela 4. Balanço de massa dos sistemas de leitos cultivados por <i>P. parviflora</i> após aplicação do tratamento | 31 |
| Tabela 5. Balanço de massa do controle após aplicação do tratamento | 31 |
| Tabela 6. Resultados de lixiviação para cromo total em amostras de blocos cerâmicos | 47 |
| Tabela 7. Aplicação do teste de Shapiro Wilk para análise da diferença do incremento de biomassa | 49 |
| Tabela 8. Aplicação do teste de Shapiro Wilk para análise de diferentes biomassas . | 50 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 14 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 3.1 EFLUENTES INDUSTRIAIS..... | 15 |
| 3.1.1 Cromo..... | 17 |
| 3.2 FITORREMEDIAÇÃO..... | 18 |
| 3.3 INCORPORAÇÃO DA BIOMASSA SECA EM BLOCOS CERÂMICOS..... | 19 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 21 |
| 4.1 ENSAIO DE SOBREVIVÊNCIA E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CROMO..... | 21 |
| 4.2 ENSAIO DE BIOACUMULAÇÃO DE CROMO EM LEITOS CULTIVADOS COM <i>T. DOMINGENSIS</i> E <i>P. PARVIFLORA</i> | 22 |
| 4.3 ENSAIO DE INCORPORAÇÃO DE BIOMASSA SECA EM BLOCOS CERÂMICOS..... | 23 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 5.1 ENSAIO DE SOBREVIVÊNCIA E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CROMO..... | 27 |
| 5.2 ENSAIO DE BIOACUMULAÇÃO DE CROMO EM LEITOS CULTIVADOS COM <i>T. DOMINGENSIS</i> E <i>P. PARVIFLORA</i> | 28 |
| 5.3 ENSAIO DE INCORPORAÇÃO DE BIOMASSA SECA EM BLOCOS CERÂMICOS..... | 32 |
| 5.3.1 Retração Linear pós-estufa..... | 32 |
| 5.3.2 Retração Linear pós-queima..... | 33 |
| 5.3.3 Perda ao fogo..... | 35 |
| 5.3.4 Absorção de água..... | 36 |
| 5.3.5 Massa específica..... | 38 |
| 5.3.6 Resistência à compressão..... | 39 |
| 5.3.7 Limite de liquidez..... | 42 |
| 5.3.8 Limite de plasticidade..... | 44 |
| 5.3.9 Índice de plasticidade..... | 45 |
| 5.3.10 Lixiviação dos corpos de prova..... | 47 |
| 5.3.11 Análise estatística – Teste de Shapiro Wilk..... | 49 |
| 6 CONCLUSÃO | 51 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 52 |
| APÊNDICE A – APLICAÇÃO DO TESTE DE KRUSKAL WALLIS COM TESTE DE MÉDIA DUN | 59 |
| APÊNDICE B – RELATÓRIO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO TESTEMUNHO | 60 |
| APÊNDICE C – RELATÓRIO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCREMENTO DE 5% DE FOLHA DE <i>T. DOMINGENSIS</i> À MASSA ARGILOSA | 61 |
| APÊNDICE D – RELATÓRIO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCREMENTO DE 10% DE FOLHA DE <i>T. DOMINGENSIS</i> À MASSA ARGILOSA | 62 |
| APÊNDICE E – RELATÓRIO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCREMENTO DE 5% DE FOLHA DE <i>P. PARVIFLORA</i> À MASSA ARGILOSA | 63 |
| APÊNDICE F – RELATÓRIO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCREMENTO DE 10% DE FOLHA DE <i>P. PARVIFLORA</i> À MASSA ARGILOSA | 64 |
| APÊNDICE G – RELATÓRIO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCREMENTO DE 5% DE RAIZ DE <i>T. DOMINGENSIS</i> À MASSA ARGILOSA | 65 |
| APÊNDICE H – RELATÓRIO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCREMENTO DE 10% DE RAIZ DE <i>T. DOMINGENSIS</i> À MASSA ARGILOSA | 66 |
| APÊNDICE I – RELATÓRIO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCREMENTO DE 5% DE RAIZ DE <i>P. PARVIFLORA</i> À MASSA ARGILOSA | 67 |
| APÊNDICE J – RELATÓRIO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCREMENTO DE 10% DE RAIZ DE <i>P. PARVIFLORA</i> À MASSA ARGILOSA | 68 |

1 INTRODUÇÃO

Vinculada a crescente demanda industrial desempenhada por países em desenvolvimento, a constante busca por matéria-prima, ampliação na geração de rejeitos e efluentes industriais, é possível verificar significativos impactos, responsáveis por alterações no ambiente (LEAL, FARIAS e ARAUJO, 2008). O Brasil, como exemplo, vem sofrendo com degradações provenientes do desenvolvimento industrial, tendo seu patrimônio natural e parte de seus recursos hídricos afetados por lançamentos sem o devido tratamento (RAMOS, 2013).

O setor industrial é apontado como o responsável por grande parte dessas contaminações em corpos hídricos, pois possui em seu processo produtivo elevada geração de efluentes, com compostos ricos em matéria orgânica, óleos e graxas, além de metais como cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb) e manganês (Mg). De acordo com Brayner (1998) esses compostos gerados pelas indústrias causam impactos em diversos níveis, levando estresse contínuo a natureza e causando efeitos agudos ou crônicos à saúde dos ecossistemas e do homem.

Alguns metais como já citados acima são utilizados em pequenas concentrações pelo metabolismo dos seres vivos (GOMES et al., 2005), entretanto, acima da faixa ótima de concentração apresentam toxicidade, podendo afetar o organismo ou até mesmo ser letal (LIMA e MENÇON, 2011). O cromo, por exemplo, presente em processos de curtumes, siderurgia, indústrias têxtil, metalurgia de ferro e de aço, papel e celulose, geradoras de energia e mineração (SANTANA, 2008), causa danos distintos como irritações na pele, olhos, e trato respiratório, além de cânceres, problemas neurológicos e mutagênicos (GODECKE, RODRIGUES e NAIME, 2012).

Pensando nestes impactos e em suas consequências a médio e longo prazo buscam-se alternativas que sejam viáveis para o tratamento das águas residuárias geradas nas indústrias. Uma idéia desenvolvida e mencionada atualmente é a fitorremediação. Segundo Rocha et al. (2004) essa técnica envolve o uso de plantas capazes de absorver os poluentes, acumulando-os parcialmente em seus tecidos. Harbel (1999), ressalta também que a

simplicidade de design, operação e manutenção tornam a tecnologia promissora para aplicação em países em desenvolvimento.

Apesar dos inúmeros benefícios encontrados com a aplicação da fitorremediação, a técnica não acaba com o problema da contaminação por cromo, mas mantém o contaminante incorporado aos tecidos vegetais, afetando os sistemas aéreo e radicular das plantas. Neste contexto, o escopo do trabalho é focado na incorporação desses tecidos em materiais utilizados na construção civil, de forma a permanecer o material contaminado inerte em blocos cerâmicos, evitando, deste modo, a propagação da contaminação pelo ambiente.

A pesquisa foi conduzida analisando a absorção do cromo III por *Pontederia parviflora* Alexander e *Typha domingensis* Pers e, posterior avaliação da incorporação da biomassa contaminada em blocos cerâmicos. O presente trabalho destaca-se como alternativa de tratamento do cromo gerado em processos produtivos, além de promover o destino correto da biomassa vegetal utilizada em processos de fitorremediação ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Incorporar biomassa vegetal contaminada por cromo trivalente em blocos cerâmicos e avaliar a qualidade dos corpos de prova sintetizados com *Thypha domingensis* Pers e *Pontederia parviflora* Alexander.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer a concentração inicial adequada de cromo III a ser utilizada no experimento de bioacumulação;
- Avaliar a eficiência de bioacumulação das espécies *P. parviflora* e *T. domingensis*;
- Comparar diferentes proporções de biomassa nos corpos de prova;
- Testar parâmetros de qualidade nos corpos de prova produzidos em acordo com a legislação vigente no país: NBR 15270-3/2005, NBR 6459/1984a, NBR 7180/1984b e NBR 10004/2004.
- Analisar a diferença entre corpos de prova sintetizados com e sem incremento de biomassa;
- Analisar a diferença entre corpos de prova sintetizados com tecido aéreo e tecido radicular;
- Avaliar a relação entre parâmetros testados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 EFLUENTES INDUSTRIAIS

O mundo moderno é reconhecido atualmente como um ambiente superpovoado, um local em que seres humanos destroem rotineiramente os recursos naturais disponíveis e agredem de forma indiscriminada o ambiente. As pessoas poluem e inutilizam o solo pela exploração excessiva de seus recursos, contaminam corpos hídricos, além de alterarem a qualidade do ar (BICUDO, 1994). No Brasil, os diversos problemas ambientais associam-se ao crescente aumento dos centros urbanos e da industrialização, responsáveis pela destruição do ambiente, poluição sonora, poluição hídrica e visual (LEAL, FARIAS e ARAUJO, 2008).

As questões ambientais estão difundidas em diversas áreas de atuação no país, entretanto é importante ressaltar o questionamento que engloba a qualidade da água disponível no Brasil. Essa qualidade é mantida através de padrões expressos pela Portaria MS nº 2914/2011 ou ainda pelo exercício da Resolução CONAMA nº 357/2005 que classifica os corpos hídricos e estabelece diretrizes para seu enquadramento, bem como condições e padrões de lançamento de efluentes, além de outras providências necessárias para obtenção de uma água própria para o consumo.

Vinculado a necessidade de uma água de qualidade fundamental para o abastecimento, bem como para a execução de atividades empregadas no dia-a-dia é possível identificar ações antrópicas que interferem na qualidade atribuída a este recurso como: lançamento de cargas nos sistemas hídricos, alteração do uso do solo rural e urbano e modificações no sistema fluvial (TUCCI, ESPANHOL e NETO, 2001).

Cotidianamente são muitas as atividades desenvolvidas e que de alguma forma interferem na qualidade do ambiente. As indústrias, geradoras de vários contaminantes causam inúmeros prejuízos à saúde da sociedade, sendo as responsáveis pelo lançamento de efluentes industriais contendo resíduos descartados no ambiente que se não controlados e/ou tratados, contaminam a água, o solo e também o ar (CASTRO e NOGUEIRA, 2007).

Os efluentes gerados na indústria caracterizam-se de acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011 como despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos. Para a Norma Brasileira NBR 9800/1987 esses despejos são provenientes do estabelecimento industrial, compreendendo emanações de processo, águas de refrigerações, águas pluviais contaminadas e esgoto doméstico. São muitos os processos produtivos que resultam na geração de uma grande quantidade de efluentes e dentre os mesmos podem-se citar a produção de laticínios, indústrias moveleiras, tinturarias, setor farmacológico, curtumes, empresas de galvanoplastia, dentre outros.

As características presentes nos efluentes gerados pela indústria são inerentes a composição das matérias primas, das águas de abastecimento e do processo industrial, enquanto que a concentração destes poluentes está em função de perdas no processo ou pelo consumo de água atribuído ao mesmo (GIORDANO, 2004).

De acordo com Nirenberg e Ferreira (2005) os efluentes são constituídos por quantidades variáveis de diferentes compostos, apresentando significativas diferenças entre parâmetros físicos, químicos e biológicos. Como estes compostos possuem características distintas o grau de contaminação do ambiente é obtido em função de suas características e varia de acordo com suas composições.

Observando a caracterização dos efluentes industriais, verifica-se que os mesmos podem apresentar em sua composição, uma enorme diversidade de constituintes como: óleos flutuantes, minerais, material coloidal, cianeto, águas residuárias com matéria orgânica, esgotos sanitários, além de vários metais (BORGES, 2003).

Esses metais podem ser encontrados nos mais variados ambientes e entre os mais comuns presentes em corpos hídricos pode-se ressaltar: arsênio, alumínio, chumbo, ferro, manganês, cromo, dentre outros (MELQUIADES et. al, 2008).

3.1.1 Cromo

De acordo com Malavolta (1994) o cromo é um elemento químico encontrado em todas as rochas, a exemplo de rochas eruptivas ácidas, rochas ultrabásicas e dos produtos do seu metamorfismo. A toxicidade deste composto depende do seu estado de oxidação em relação ao momento que o efluente é lançado (JORDÃO, 1999).

Quando sua forma de oxidação encontra-se no estado de Cr^{3+} passa a ser um elemento essencial no metabolismo de carboidratos e de lipídeos do organismo humano (FERREIRA, 2002). No entanto, Pellerin e Booker (2000) relatam que a forma oxidada do cromo (Cr^{6+}) pode provocar mutações no DNA de seres vivos e causar diversos danos aos tecidos vegetais e animais.

Dada a toxicidade de sua forma hexavalente e de seus compostos trivalentes quando em excesso, o uso do cromo em processos industriais, bem como suas transformações tem sido alvo de estudos.

Segundo Freitas (2006) seu uso mais comuns é empregado em empresas de mineração, indústrias de cromagem e curtimento de couro para confecção de bens de consumo. O composto é também usado em grande escala para transformação de peles de animais em couro, um produto resistente a biodegradação.

Tratando-se da biodegradação do composto verifica-se que o cromo é denominado como um metal recalcitrante e que, portanto, não é biodegradável por organismos presentes em sistemas biológicos, mas bioacumulados em seus tecidos, podendo gerar uma série de problemas (ODUM e BARRETT, 2007).

Uma das situações com maior agravante da contaminação do cromo em corpos hídricos é sua biomagnificação em cadeias tróficas, processo que leva a altos níveis de cromo em espécies superiores da cadeia alimentar, podendo eventualmente ser letal a alguns seres vivos (LEITE, 2002).

Frente ao impasse dos problemas atribuídos a geração de efluentes com a presença de cromo é necessária a busca por novas tecnologias que resolvam ou ao menos minimizem o problema. Dinardi et al. (2003), por exemplo, relatam a importância de métodos de tratamento *in situ* que resultam

em menores impactos e reduzam a questão dos custos. Uma tecnologia interessante e que atende ao problema é o método da fitorremediação.

3.2 FITORREMEDIAÇÃO

A técnica envolve a utilização de plantas que removam poluentes presentes no ambiente, absorvendo e, ou transformando em seus tecidos, sendo assim apontada como uma alternativa para reduzir os impactos provenientes da utilização de metais (ALMEIDA et. al, 2007). Segundo Cunningham et al. (1996) a fitorremediação pode ser aplicada não somente para descontaminação do solo e da água poluídos por metais, como também por componentes orgânicos, elementos químicos radioativos, hidrocarbonetos, pesticidas, explosivos e subprodutos industriais tóxicos.

O diferencial da utilização desta técnica são as diversas vantagens existentes em relação às tecnologias tradicionalmente aplicadas, tais como: melhoria da paisagem, potencial de reutilização da biomassa agregando valor econômico, melhor aceitação do público, além de facilidade de controle se comparado a processos microbiológicos (MARTINS, 2008). Entretanto, a tecnologia assim como as demais também apresenta eventuais limitações, dentre elas: descontaminação mais lenta que tratamentos físico-químicos, existência de um limite máximo de toxicidade para cada planta e, risco inerente de ingestão da biomassa propagando a contaminação do metal em toda cadeia trófica (COSTA, 2004).

A aplicação da técnica de fitorremediação ocorre com a utilização de macrófitas aquáticas, em um sistema conhecido como “wetlands” construídos. De acordo com Scragg (2007) o termo “constructed wetlands” é bastante utilizado internacionalmente na identificação desses sistemas, porém, no Brasil, ainda não se tem uma denominação única para esses sistemas, podendo ser denominado como leitos cultivados, zona de raízes ou mesmo wetlands construídos.

As macrófitas aquáticas utilizadas nestes sistemas são geralmente espécies vegetais conhecidas e que se destacam por apresentar alta capacidade de absorção de metais e de compostos orgânicos, sendo utilizados

indivíduos como a *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult com remoção aparente da concentração de cromo em 37% (SOUZA, 2013) e *Typha domingenses* Pers com remoção de 80% de ferro e 58% de cromo (SCHOLZ; XU, 2002).

Deste modo, o método apresentado possui alta aceitabilidade por se tratar de uma tecnologia ecológica e altamente viável, podendo ser utilizada em grandes localidades, como possibilidades de remediar solo, subsolo e água, além de possuir atrativos paisagísticos (DINARDI et. al, 2003).

3.3 INCORPORAÇÃO DA BIOMASSA SECA EM BLOCOS CERÂMICOS

De acordo com Albuquerque (2012) após estabilidade e climatização da planta nos sistemas testados, ocorre a geração de grande quantidade de biomassa, que deve ser retirada, resultando em um resíduo sólido com necessidade de reaproveitamento.

Uma das questões de fundamental importância para a sociedade é a busca do reaproveitamento dos rejeitos e resíduos gerados, como meio de recuperar matéria e energia, preservando recursos naturais, ofertando uma menor degradação do meio ambiente e melhorando condições de vida das comunidades (BONET, 2002).

Segundo Oliveira e Holanda (2004) os resíduos provenientes em estações de fitotratamento podem ser empregados para obtenção de blocos cerâmicos atuando como solução para problemas ambientais associados ao descarte de resíduos poluentes.

Os autores ainda afirmam que as massas incorporadas na indústria cerâmica são de natureza heterogênea, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens distintas. Deste modo, as massas cerâmicas suportam a incorporação de resíduos industriais sem grandes variações de suas propriedades, quando adicionadas em quantidades adequadas.

De acordo com os estudos desenvolvidos é possível se avaliar a incorporação de diferentes resíduos na confecção de blocos cerâmicos, entre eles: material sólido proveniente de siderúrgicas (OLIVEIRA e HOLANDA,

2004), resíduos de beneficiamento de madeira (MENEZES et al., 2007) e biomassas provenientes de processos de tratamento (ALBUQUERQUE, 2012), todos apresentando resultados satisfatórios em acordo com as normas vigentes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em escala piloto e contou com ensaios de sobrevivência das plantas, determinação da concentração de cromo, bioacumulação do metal (cromo trivalente) em espécies vegetais e incorporação da biomassa contaminada em corpos de prova

4.1 ENSAIO DE SOBREVIVÊNCIA E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CROMO

Inicialmente foi realizado o ensaio de sobrevivência de *T. domingensis* e *P. parviflora*, testando a capacidade de sobrevivência das duas espécies quando plantadas em recipientes plásticos de 5L. As plantas foram cultivadas com raízes submersas em areia (meio de suporte) e água tratada. As espécies foram observadas ainda quanto ao tempo, verificando o processo de senescência. O experimento foi realizado três vezes até determinação do maior período de tempo para cultivo das plantas sem a morte de indivíduos.

Logo após, foi elaborado o experimento de determinação da concentração de cromo, com a elaboração de cinco sistemas. Em cada sistema foram plantados dois indivíduos de *T. domingensis* e dois indivíduos de *P. parviflora* testados juntamente. As plantas foram cultivadas em recipientes plásticos de fundo impermeabilizado com aproximadamente 2 kg de areia inerte utilizada como meio de sustentação.

Em cada um dos sistemas foram testadas concentrações distintas de cromo trivalente: 0mg.L^{-1} , 60mg.L^{-1} , 90mg.L^{-1} , 120mg.L^{-1} e 150mg.L^{-1} .

Após plantio as duas espécies foram observadas *in loco* por um período de 72 horas pré-estabelecido nos ensaios de sobrevivência descrito acima, verificando-se alterações em folhas e caules que indiquem o início do processo de senescência, em virtude da exposição direta da planta a determinada concentração do metal.

A maior concentração suportada no ensaio foi utilizada como base para o desenvolvimento do ensaio de bioacumulação.

4.2 ENSAIO DE BIOACUMULAÇÃO DE CROMO EM LEITOS CULTIVADOS COM *T. domingensis* E *P. parviflora*

Foram montados sete sistemas de fitotratamento em recipientes plásticos impermeabilizados com capacidade de 5L cada. Em três recipientes foram plantados *T. domingensis* e em outros três recipientes *P. parviflora*, no recipiente restante não foi plantada nenhuma espécie, ficando este como controle (Figura 1).

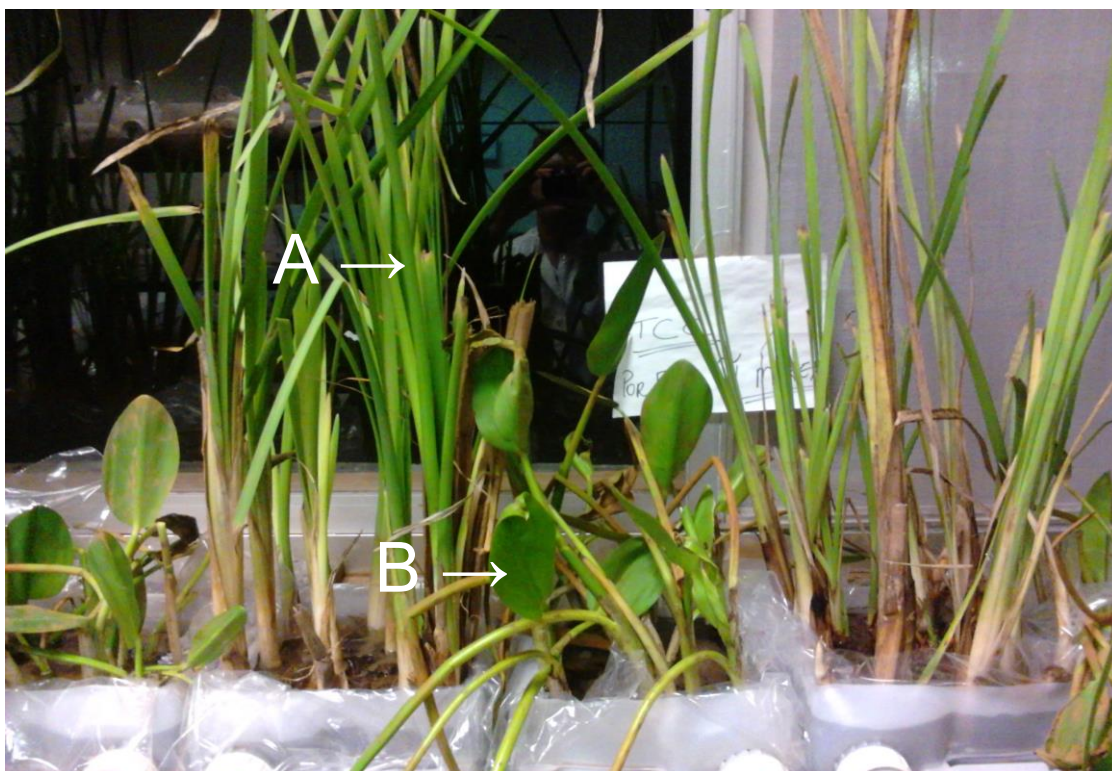


Figura 1. Sistemas de leitos cultivados utilizados em ensaio de bioacumulação de cromo. Em que (a) refere-se a *T. domingensis* e (b) *P. parviflora*

As macrófitas foram cultivadas em meio suporte com 2 kg de areia e permaneceram em ambiente arejado sob luz solar, dispostas de forma aleatória. Foi introduzido neste sistema 1,5 L de solução do metal com concentração de acordo com os resultados obtidos no ensaio de determinação da concentração de cromo.

O tempo de detenção da solução de cromo no sistema foi de 72 horas, período máximo suportado por *T. domingensis* no teste de sobrevivência. No início do experimento foram coletados 500 mL da solução de cromo bruta (sem tratamento) necessária para a realização das análises químicas, além de

plantas sem exposição ao cromo. Após realização do experimento foram coletados 500 mL da solução de metal, além de 10 g de areia e 10 g de plantas (parte aérea e parte radicular separadamente) dos sete sistemas testados.

Após coleta todo material vegetal foi devidamente seco em estufa de circulação de ar a uma temperatura de 60°C por um período de 48 horas. Encerrado o procedimento de secagem o material teve seu peso aferido para posterior realização do balanço de massa presente no sistema. Para realização deste teste foi calculada a quantidade de cromo existente em cada parte do sistema através da aplicação da equação (I):

$$B_m = [(C_f - C_i) \times M] \quad (I)$$

Em que: B_m refere-se ao balanço de massa, C_f corresponde a concentração final de cromo, C_i é a concentração inicial de cromo e M corresponde a massa do material.

Para acondicionamento do material coletado a areia foi seca em estufa a 60° C por um período de 48 horas. Depois de armazenadas as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá (UEM), onde foram analisadas pela aplicação do método de espectrofotometria de absorção atômica.

4.3 ENSAIO DE INCORPORAÇÃO DE BIOMASSA SECA EM BLOCOS CERÂMICOS

Para incorporação de biomassa em corpos de prova (CPs) foi utilizado argila previamente seca e material vegetal proveniente do teste de bioacumulação de cromo. A argila utilizada no experimento também foi encaminhada ao laboratório de Agroquímica da UEM para verificação da concentração de cromo presente no composto.

Após secagem das plantas em estufa a 60 °C, o material foi processado em moinho de facas e o produto desta etapa peneirado em uma peneira granulométrica com abertura de 42 *mesh*. O mesmo procedimento foi realizado com a argila de forma a obter material fino e com estrutura homogênea.

Para a construção dos corpos de prova foram elaboradas massas argilosas com adição de 0%, 5% e 10% de biomassa seca provenientes do ensaio de bioacumulação. Para cada tipo de massa argilosa foram confeccionados seis corpos de prova, utilizando biomassas dos sistemas aéreos e radiculares de cada espécie vegetal separadamente.

No processo de fabricação dos corpos de prova foram adicionados com auxílio de borrifador aproximadamente 18% de umidade, a fim de fornecer liga a massa. Tal percentagem foi calculada com apoio da equação (II):

$$\text{Umidade} = M_{\text{amostra}} \times 18\% \text{ de água} / 100\% \quad (\text{II})$$

Em que M_{amostra} corresponde à massa de material seco.

As amostras foram armazenadas em recipientes plásticos com intuito de manter a umidade necessária neste estudo. Os corpos de prova foram produzidos através da adição de aproximadamente 16 gramas de amostra em um molde metálico com dimensões de 60x20mm. Em seguida, com apoio da prensa hidráulica foram aplicadas forças distintas de forma a obter CPs com a dimensão desejada (Figura 2), tendo comprimento médio de 36 mm e diâmetro de 18 mm. Foram elaborados ao todo 54 protótipos, com peso úmido aproximado de 18 gramas.



Figura 2. Prensa hidráulica (EMIC) utilizada para confecção dos corpos de prova

Após a prensagem os corpos foram medidos e pesados com paquímetro e balança analítica, respectivamente. Foram colocados para secar inicialmente em temperatura ambiente por 24 horas e, posteriormente, em estufa de circulação de ar pelo mesmo período de tempo a uma temperatura de 110° C. Ao serem retirados das estufas tiveram suas medidas e peso novamente aferidos.

Seguindo o procedimento, os corpos de prova foram queimados em forno mufla a uma temperatura de 550° C por aproximadamente 3 horas com aquecimento de 4° C/min. Depois de resfriadas as amostras tiveram novamente seus pesos e medidas aferidos. De acordo com estes procedimentos foram possíveis a determinação de algumas propriedades como: massa específica, retração linear após secagem, perda ao fogo, retração linear após a queima e absorção da água conforme equações III, IV, V, VI e VII:

$$RLps = [(Cv - Cs) / Cs] \times 100 \quad (III)$$

$$PF = [(Ms - Mpq) / Mpq] \times 100 \quad (IV)$$

$$RLpq = [(Cv - Cpq) / Cpq] \times 100 \quad (V)$$

$$AA = [(M_{qu} - M_{qs}) / M_{qs}] \times 100 \quad (VI)$$

$$MEA = M_{pq} / [(D_{pq}^2 \times \pi \times C_{pq}) / 4] \quad (VII)$$

Onde: RLps refere-se a retração linear pós secagem; Cv é o comprimento do corpo de prova verde; Cs o comprimento do corpo de prova seco; PF é a perda ao fogo enquanto que Ms é a massa do corpo de prova seco, RLpq é a retração linear pós queima, Cpq representa o comprimento do corpo de prova pós queima; AA é a absorção de água e Mu é a massa úmida após imersão em água por um período de 24 horas; MEA refere-se à massa específica da amostras; Mpq e Dpq representam respectivamente, a massa pós queima e o diâmetro pós queima em mufla;

Após realização dos ensaios referentes à retração linear, perda ao fogo e absorção de umidade foram realizados ensaios de liquidez de acordo com instruções da norma técnica NBR 6459/1984, ensaios para obtenção do índice de plasticidade conforme determinações da NBR 7180/1984b e teste de resistência, seguindo a norma NBR 7170/1983.

O teste referente à resistência dos corpos de prova foi obtido através da realização de ensaios de compressão e tração em uma célula de carga com apoio do equipamento de ensaios universal (EMIC). Através do software *Tesc* foram mensurados os valores de força máxima, força de ruptura, tensão a força máxima e tensão de ruptura.

Terminados os testes para caracterização do material os corpos de prova foram encaminhados para o laboratório Santa Rita em Mamborê, onde foram obtidos resultados referentes a testes de lixiviação em acordo com a norma técnica NBR 10005/2004.

Os resultados obtidos foram analisados e posteriormente confrontados com apoio do software BioEstat 5.3®. Foram aplicados, deste modo, os testes estatísticos Shapiro Wilk para observação da similaridade entre as plantas em dados paramétricos e Kruskal Wallis com teste de média Dun para verificação da correlação existente entre os parâmetros em testes não paramétricos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ENSAIO DE SOBREVIVÊNCIA E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CROMO

No estudo de determinação da concentração de cromo, verificou-se que *T. domingensis* e *P. parviflora* possuem comportamento de resistência distinto, sendo *P. parviflora* mais adaptada as condições propostas. Os sistemas cultivados com *T. domingensis*, apresentaram morte da maioria dos espécimes após o terceiro dia de exposição a concentrações superiores a 90 mg/L de cromo (Figura 3).



Figura 3. Sistema de leitos cultivados com *T. domingensis* após três dias de exposição a uma concentração de 120 mg/L de cromo: folhas escuras e em início de senescência

P. parviflora sob as mesmas condições apresentou boa resistência, não resultando no amarelamento de folhas e nem no surgimento de necrose em nenhuma das concentrações testadas. Pelo contrário, a espécie registrou após o período de três dias eficiente adaptação ao meio, tendo como resultado a emissão de novas folhas e brotos (Figura 4)



Figura 4. Sistema de leitos cultivados com *P. parviflora* após três dias de exposição a uma concentração de 150 mg/L de cromo. Em destaque o surgimento de brotos.

Pela realização deste estudo, notou-se que *T. domingensis* quando submetida a uma concentração de cromo superior a 90 mg/L em um período de três dias, não resiste a saturação do meio e acaba morrendo. Em decorrência a este fato, para realização do ensaio de bioacumulação optou-se por se trabalhar com sistemas de tratamento, no mesmo intervalo de tempo (72 horas), a uma concentração do metal abaixo de 90 mg/l, objetivando assim, explorar o máximo do potencial de absorção de cromo para *T. domingensis*.

5.2 ENSAIO DE BIOACUMULAÇÃO DE CROMO EM LEITOS CULTIVADOS COM *T. domingensis* E *P. parviflora*

Neste ensaio foi observada maior redução da concentração de cromo nos sistemas de tratamento cultivados com *T. domingensis*. Nestes locais, a remoção de cromo presente na solução após o tratamento foi de 95,55%, estando a maior parte da concentração do metal acumulada nos tecidos radiculares da planta (Tabela 1).

Tabela 1. Concentração de cromo registrada antes e após processo de tratamento de efluente em leitos cultivados por *T. domingensis*. (*) Média das concentrações de leitos cultivados e seus respectivos desvios padrões (n=3). (Ef%) representa a eficiência do sistema após o processo de tratamento

| | Concentração de Cr (mg/Kg) * | | | |
|---------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | Raiz | Folha | Areia | Solução |
| Inicial | 28,94 ± 4,01 | 6,17 ± 2,26 | 3,13 ± 0,31 | 70,61 ± 1,17 |
| Final | 446,18 ± 52,76 | 35,69 ± 3,58 | 16,93 ± 2,74 | 3,14 ± 0,21 |
| Ef % | - | - | - | 95,55 |

Em sistemas cultivados com *P. parviflora* foi verificada redução da concentração cromo na ordem de 47,75%, sendo à maior parte da concentração do metal acumulada nas partes aéreas da planta, correspondente as folhas (Tabela 2). Este dado ressalta a importância de *P. parviflora* aplicada ao sistema de tratamento, visto que a planta após incorporar o metal em seus tecidos, encaminha grande parte deste composto para sua estrutura aérea, podendo esta ser removida e reaproveitada para outros fins sem a necessidade de replantio constante da planta pós tratamento.

Tabela 2. Concentração de cromo registrada antes e após o processo de tratamento de efluente em leitos cultivados por *P. parviflora* e leito sem a presença de planta. (*) Média das concentrações de leitos cultivados por *P. parviflora* e seus respectivos desvios padrões (n=3). (Ef%) representa a eficiência do sistema após o processo de tratamento por leitos cultivados

| | Concentração de Cr (mg/Kg) | | | | | |
|---------|--|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Leito cultivado com <i>P. parviflora</i> * | | | | Controle | |
| | Raiz | Folha | Areia | Solução | Areia | Solução |
| Inicial | 19,98 ± 1,81 | 4,72 ± 1,79 | 3,13 ± 0,31 | 70,61 ± 1,17 | 3,13 ± 0,31 | 70,61 ± 1,17 |
| Final | 80,67 ± 9,55 | 105,37 ± 2,56 | 17,03 ± 2,73 | 36,89 ± 1,23 | 19,84 ± 4,43 | 40,46 ± 0,49 |
| Ef % | - | - | - | 47,75 | - | 40,34 |

Em análise ao sistema de tratamento sem adição de plantas, notou-se que, por decantação, parte do cromo presente na solução inicial ficou retido no sistema, estando de forma geral aderidos às moléculas de areia. No presente trabalho, cerca de 40% de todo cromo encontrado no controle se decantou e permaneceu depositado junto às areias.

Comparando os três modelos testados os resultados comprovam que em sistemas de tratamento cultivados com plantas o acúmulo e a absorção de cromo são maiores que em sistemas que atuam apenas por decantação, como o controle. Verificou-se ainda que o sistema cultivado com *T. domingensis* mostrou resultados mais promissores, apresentando quase totalidade na

absorção do metal, boa eficiência no tratamento e adaptabilidade as diversas condições presentes no sistema.

Os resultados obtidos confirmam os encontrados por Lima (2008) e Scholz (2002) que também analisaram o potencial de acumulação de cromo em tecidos vegetais de *P. parviflora* e *T. domingensis*. Em seus estudos, os autores obtiveram remoção da concentração do composto próxima a 98% com cultivo de *P. parviflora* (LIMA, 2008) e 58% com cultivo de *T. domingensis* (SCHOLZ, 2002), o que reforça o potencial bioacumulador das espécies estudadas.

Estudos apontam que embora sejam consideradas hiperacumuladoras, com ampla capacidade de acumular e suportar altas concentrações de metais (BAKER e BOOKS, 1989), as plantas sofrem ao longo da vida ação direta do ambiente e das condições ao qual estão vinculadas. De acordo com Henry-Silva (2003) fatores como a temperatura e o pH podem afetar diretamente a sobrevivência das plantas e, interferirem em sua absorção de nutrientes .

A temperatura ideal para o bom desenvolvimento de macrófitas está entre 18 e 25°C e o pH com faixas de variação entre 6,5 e 7,0 (HENRY-SILVA, 2003).

No presente trabalho, as condições ambientais observadas foram adversas com temperaturas baixas e pH muito ácidos. Pelos resultados obtidos, o pH dos sistemas mantiveram-se próximos a 3,4 e a temperatura ambiente mínima registrada foi de -2°C (SIMEPAR, 2013). Condições ambientais como estas afetam diretamente os resultados, porém demonstram que se os tratamentos são satisfatórios diante de fatores extremos, em condições melhores os rendimentos serão ainda maiores.

Quanto ao balanço de massa, pela aplicação da equação (I) foi possível verificar a quantidade de cromo acumulada em cada estrutura componente do sistema de tratamento, sendo esta dividida entre: raízes, folhas e areia (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Balanço de massa dos sistemas de leitos cultivados por *T. domingensis* após aplicação do tratamento. Em que (C) refere-se a concentração de cromo no pós-tratamento – concentração de cromo antes do tratamento e (M) é o produto de C x quantidade

| Descrição | Quantidade (kg) | C (mg/Kg) | Massa do Cr (mg) | % de composição do tratamento |
|-----------|-----------------|-----------|------------------|-------------------------------|
| Folha | 0,34 | 28,34 | 09,64 | 03,03 |

| | | | | |
|----------|------|--------|--------|-------|
| Raiz | 0,48 | 406,05 | 194,90 | 61,34 |
| Areia | 6,00 | 13,80 | 82,80 | 26,12 |
| Efluente | 4,50 | 3,13 | 14,09 | 04,44 |
| Total | - | - | - | 94,93 |

Pela análise dos dados notou-se que em sistemas cultivados com *T. domingensis* a maior quantidade de cromo foi acumulada pelos tecidos vegetais (64,37%), restando apenas 26,12% da massa inicial de cromo aderida às partículas de areia. Aproximadamente 61% de toda massa do metal foi acumulada por tecidos radiculares da planta, indicando que o cromo permaneceu em sua grande maioria fixo nestes tecidos, sendo encaminhadas menores concentrações do metal para as folhas.

Nos tratamentos desenvolvidos com leitos cultivados com *P. parviflora* (Tabela 4), percebeu-se que apesar da absorção da planta, a maior quantidade do cromo permaneceu aderida as moléculas de areia.

Tabela 4. Balanço de massa dos sistemas de leitos cultivados por *P. parviflora* após aplicação do tratamento. Em que (C) refere-se a concentração de cromo no pós-tratamento – concentração de cromo antes do tratamento e (M) é o produto de C x quantidade

| Descrição | Quantidade (kg) | C (mg/Kg) | Massa do Cr (mg) | % de composição do tratamento |
|-----------|-----------------|-----------|------------------|-------------------------------|
| Folha | 0,12 | 100,65 | 12,08 | 03,80 |
| Raiz | 0,26 | 60,70 | 15,78 | 04,97 |
| Areia | 6,00 | 13,90 | 83,40 | 26,25 |
| Efluente | 4,50 | 36,89 | 166,00 | 52,24 |
| Total | - | - | - | 87,26 |

Nestes sistemas a biomassa testada apresentou menor representatividade de absorção de cromo em relação ao volume de cromo acumulado pelos tecidos vegetais de *T. domingensis*. A presente constatação associou-se, em parte, ao fato dos tecidos de *P. parviflora* terem massa corporal mais leve se comparada a *T. domingensis* e, portanto, acumularem no final do tratamento volume menor do metal.

Quanto ao balanço de massa do controle (Tabela 5) verificou-se no pós-tratamento que a maior parte da concentração de cromo não foi devidamente tratada e continuou presente no efluente.

Tabela 5. Balanço de massa do controle após aplicação do tratamento. Em que (C) refere-se a concentração de cromo no pós-tratamento – concentração de cromo antes do tratamento e (M) é o produto de C x quantidade

| Descrição | Quantidade (kg) | C (mg/Kg) | Massa do Cr (mg) | % de composição do |
|-----------|-----------------|-----------|------------------|--------------------|
|-----------|-----------------|-----------|------------------|--------------------|

| | | | | tratamento |
|----------|------|-------|-------|------------|
| Areia | 2,00 | 16.71 | 33.42 | 31.55 |
| Efluente | 1,50 | 42.12 | 63.18 | 59.65 |
| Total | - | - | - | 91.46 |

Pela análise do balanço de massa registrado neste sistema, observou-se que pouco mais de 31% do cromo permaneceu de fato depositado na areia, cerca de 60% do mesmo manteve-se no efluente.

5.3 ENSAIO DE INCORPORAÇÃO DE BIOMASSA SECA EM BLOCOS CERÂMICOS

5.3.1 Retração Linear pós-estufa

Para dar início a caracterização do material cerâmico, pela aplicação da equação (III) foi analisada a percentagem de retração linear dos corpos de prova após processo de secagem em estufa. Os dados obtidos mostram que os protótipos apresentaram variações de comprimento inferiores a 2% (Gráficos 1 e 2), sendo classificados, por tanto, como bons resultados. De acordo com o trabalho desenvolvido por Dondi (2006) retrações lineares em blocos cerâmicos inferiores a 8% são denominadas de excelentes qualidades e até 10% são aceitáveis para suprir as necessidades do mercado.

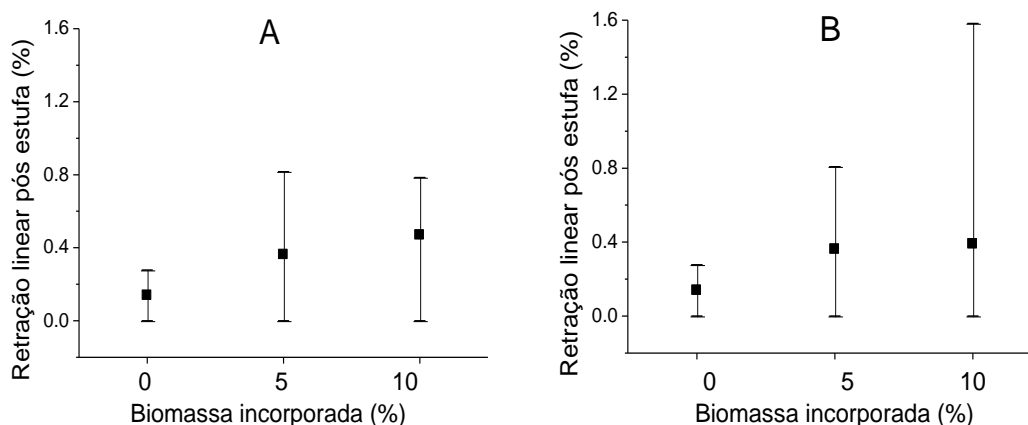


Gráfico 1. Retração linear após secagem do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. (A) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *P. parviflora*; (■) Valores médios de retração linear pós estufa e seus respectivos desvios padrões (n=6).

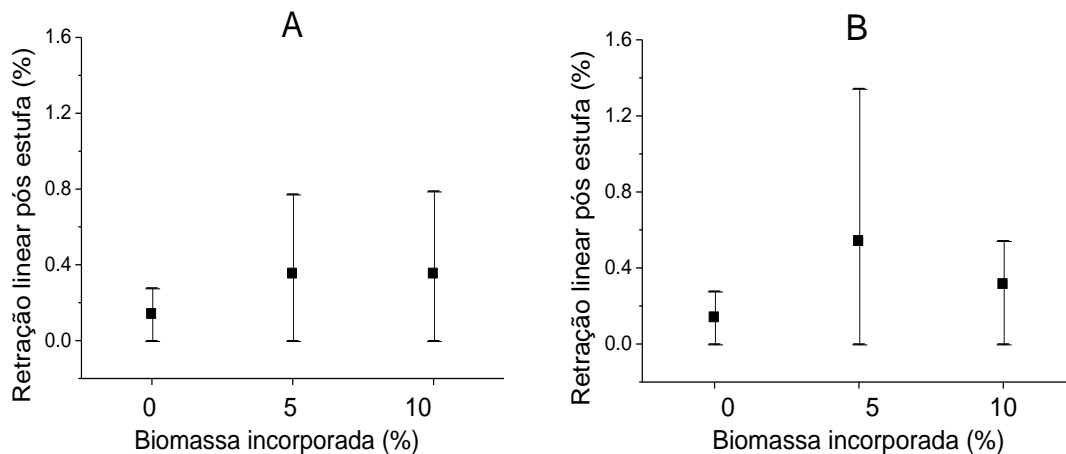


Gráfico 2. Retração linear após secagem do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. (A) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *P. parviflora*; (■) Valores médios de retração linear pós estufa e seus respectivos desvios padrões (n=6).

Pelos gráficos 1 e 2 notou-se que os sistemas com *T. domingensis* registraram retração linear com valores similares para 5% e 10% de biomassa incorporada. O mesmo não foi observado em corpos de prova com incorporação de *P. parviflora*. Nestes protótipos, foi verificada maior retração linear em corpos de prova com adição de 5% de raízes.

5.3.2 Retração Linear pós-queima

Em análise a retração linear após o processo de queima, notou-se que a variação de comprimento exercida pelos corpos de prova não ultrapassou os 3% de retração (Gráficos 3 e 4), sendo os mesmos classificados, portanto, com variação ótima de comprimento (DONDI, 2006).

No presente estudo, somente os corpos de prova com incorporação de 10% de folha de *P. parviflora* ultrapassaram valores médios de variação de comprimento de 1,5%, sendo deste modo, classificados com retração linear aceitável (DONDI, 2006). Foi verificado ainda que os protótipos incorporados com material radicular das plantas obtiveram menor retração se comparados aos corpos de prova com presença de folhas. Este comportamento associa-se a menor granulometria do material radicular facilitando, deste modo, sua homogeneização junto à argila.

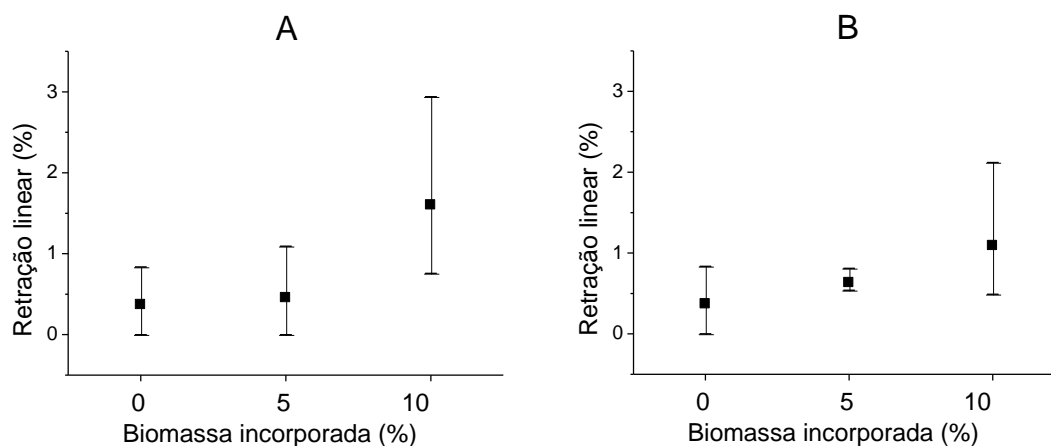


Gráfico 3. Retração linear após queima do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de biomassa folhagem seca. (A) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *P. parviflora*; (■) Valores médios de retração linear e seus respectivos desvios padrões (n=6).

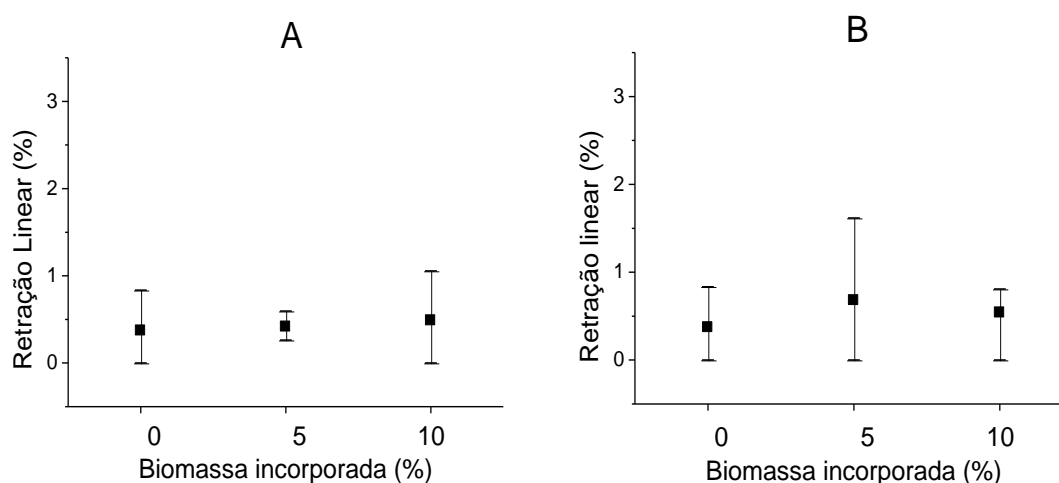


Gráfico 4. Retração linear após queima do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. (A) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *P. parviflora*; (■) Valores médios de retração linear e seus respectivos desvios padrões (n=6).

Em relação aos parâmetros avaliados percebeu-se pela aplicação do teste de Shapiro Wilk que os dados obtidos não são normais ($p < 0,05$), sendo necessária a aplicação do teste de variância Kruskal Wallis com teste de média Dun. Pela aplicação do presente teste verificou-se que a retração linear pós queima associou-se à retração linear pós estufa, não apresentando variância significativa entre si ($p > 0,05$). Foi verificado, portanto, que não houve diferença estatística entre os dois parâmetros analisados (Apêndice A). Neste

contexto, observou-se que CPs com maior retração durante a secagem do material tenderam a apresentar também maior retração após queima em forno elétrico.

5.3.3 Perda ao fogo

A perda ao fogo dos corpos de prova mostrou tendência de aumento com a adição de uma maior quantidade de biomassa incorporada em suas formulações (gráfico 5 e 6).

Pelo estudo, observou-se que as maiores perdas foram encontradas em protótipos com a incorporação de 10% de biomassa seca proveniente de folhas. Apesar da grande perda, os valores obtidos estão em conformidade com o recomendado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1985), cujos resultados não devem ultrapassar 10% do peso total do material.

Deste modo, seguindo recomendações estabelecidas pelo IPT (1985) todos os protótipos sintetizados com diferentes proporções de biomassas atendem aos critérios necessários para confecção dos blocos cerâmicos.

No trabalho desenvolvido por Rêgo (2008) avaliando a conformidade de blocos cerâmicos os valores de perda sob condições similares foram também próximos aos 7%, o que não difere particularmente do encontrado neste estudo.

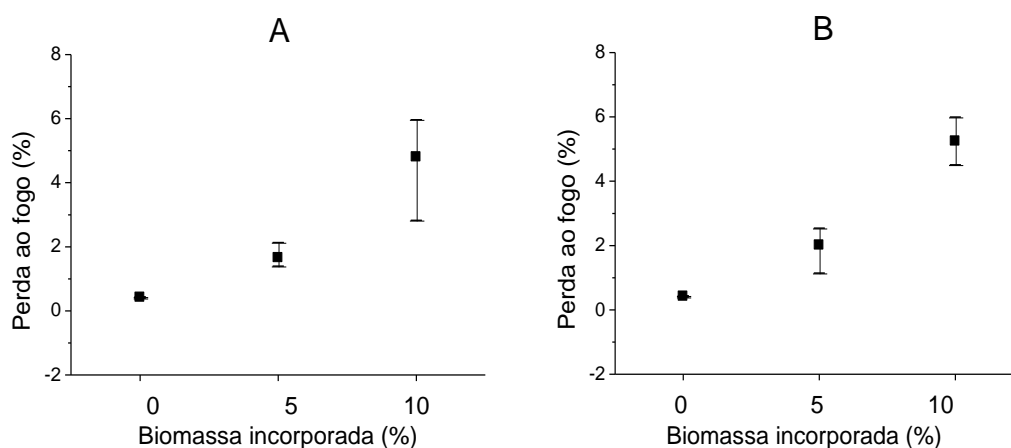


Gráfico 5. Perda ao fogo do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. (A) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *P. parviflora*; (■) Valores médios de perda ao fogo e seus respectivos desvios padrões (n=6).

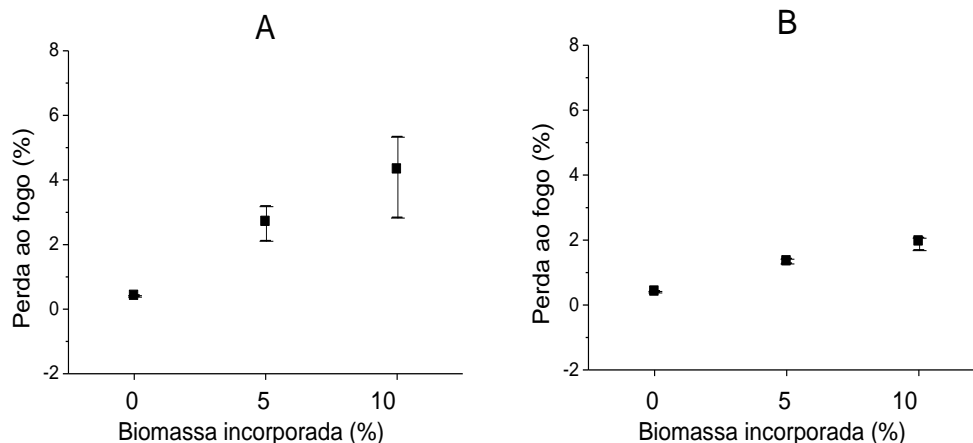


Gráfico 6. Perda ao fogo do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. (A) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *P. parviflora*; (■) Valores médios de perda ao fogo e seus respectivos desvios padrões (n=6).

O comportamento observado, com maior perda ao fogo em protótipos com adição de 10% de biomassa já era esperado, visto que a matéria orgânica sintetizada se volatiliza durante o processo de queima do composto. Deste modo, pôde-se verificar que os protótipos perderam massa em função da queima da matéria orgânica quando submetidos a altas temperaturas (550 °C)

5.3.4 Absorção de água

Em análise a absorção de água, verificou-se que os corpos de prova apresentaram excessiva capacidade de absorção de compostos líquidos. Esta característica, determinante na confecção de blocos cerâmicos, demonstra que alguns protótipos absorvem grande quantidade de água, provocam aumento do peso e acabam comprometendo as estruturas de construções.

Pelos gráficos, observou-se que os testemunhos apresentaram menor absorção de água se comparados aos demais protótipos analisados (Gráficos 7 e 8). À medida que se aumenta a incorporação de biomassa no material argiloso, amplia-se também sua capacidade de absorção, resultante do aumento de espaços livres após processo de queima.

De acordo com a NBR 7171/1992, para tijolos furados, a absorção de água deve ser inferior a 25% do peso total do material. Com os dados obtidos,

notou-se que apenas corpos de provas sintetizados com 5% de biomassa estão em conformidade com a norma e, portanto, atendem aos critérios estabelecidos pela legislação vigente.

Entretanto, Segundo Menezes et al., (2002) os valores encontrados não impossibilitam a utilização de diferentes percentagens de incorporação de biomassa na confecção de blocos cerâmicos, pois os valores de absorção de água tendem a ser diminuídos após ampliação da temperatura de queima dos corpos de prova. Neste contexto, recomenda-se a aplicação de novos estudos com aderência de maior temperatura de cura para os blocos cerâmicos testados.

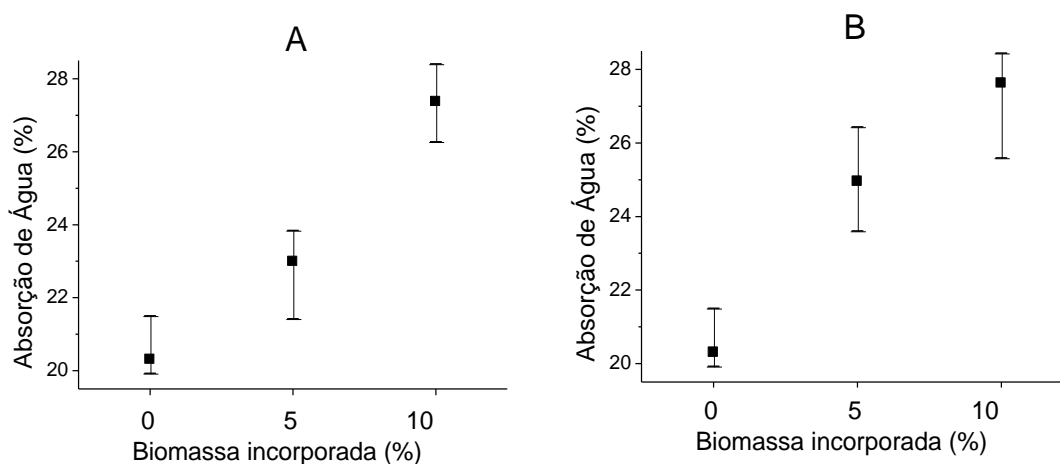


Gráfico 7. Absorção de água do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. (A) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *P. parviflora*; (■) Valores médios de absorção de água e seus respectivos desvios padrões (n=6).

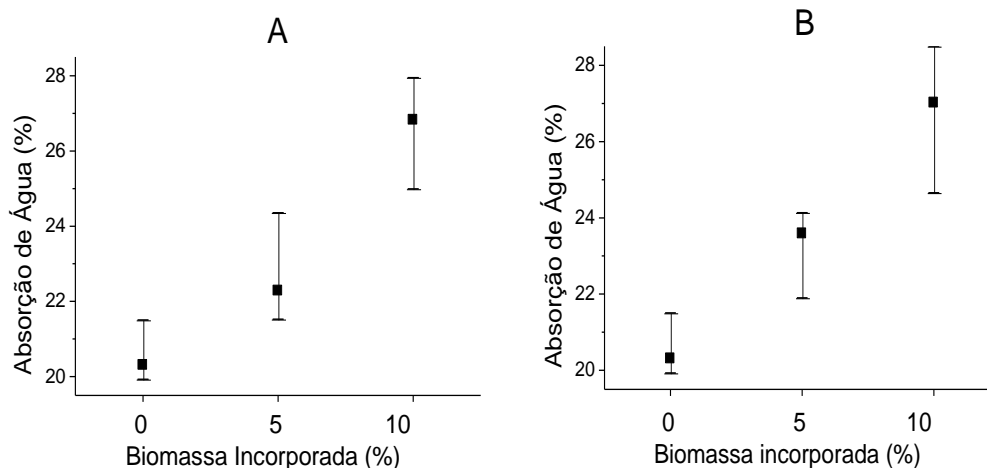


Gráfico 8. Absorção de água do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. (A) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *P. parviflora*; (■) Valores médios de absorção de água e seus respectivos desvios padrões (n=6).

Franco (1992) salienta ainda que blocos cerâmicos com alta taxa de absorção de água provocam, quando em contato com a argamassa diminuição da sua plasticidade, o que resulta na perda da capacidade de absorver pequenas deformações presentes na alvenaria.

5.3.5 Massa específica

A massa específica do material em estudo teve redução com a incorporação de biomassa (Gráficos 9 e 10). A maior queda de massa específica foi registrada em testes com a adição de 10% de biomassa seca proveniente de folhagem, visto que nestes protótipos ocorreu maior aumento de porosidade.

De acordo com Mello (2006) os valores de massa específica acompanham propriedades como a porosidade e absorção de água. Com o incremento de biomassa, ocorre aumento da porosidade, da absorção e, por fim, queda da massa específica aparente. Albuquerque (2012) em seu trabalho com incorporação de *P. parviflora* em blocos cerâmicos observou o mesmo comportamento com decaimento no valor da massa específica aparente em razão da maior quantidade de resíduo incorporado aos corpos de prova.

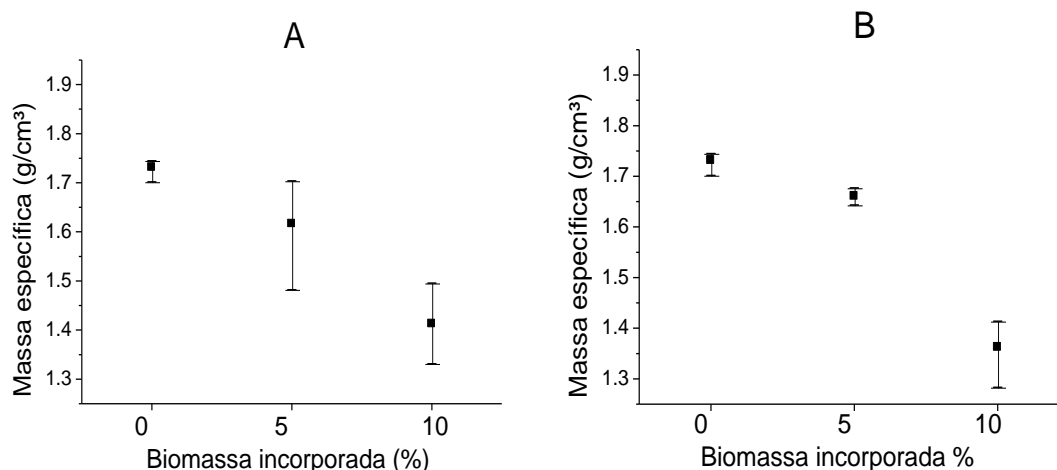


Gráfico 9. Massa específica aparente do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. (A) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *P. parviflora*; (■) Valores médios de massa específica e seus respectivos desvios padrões (n=6).

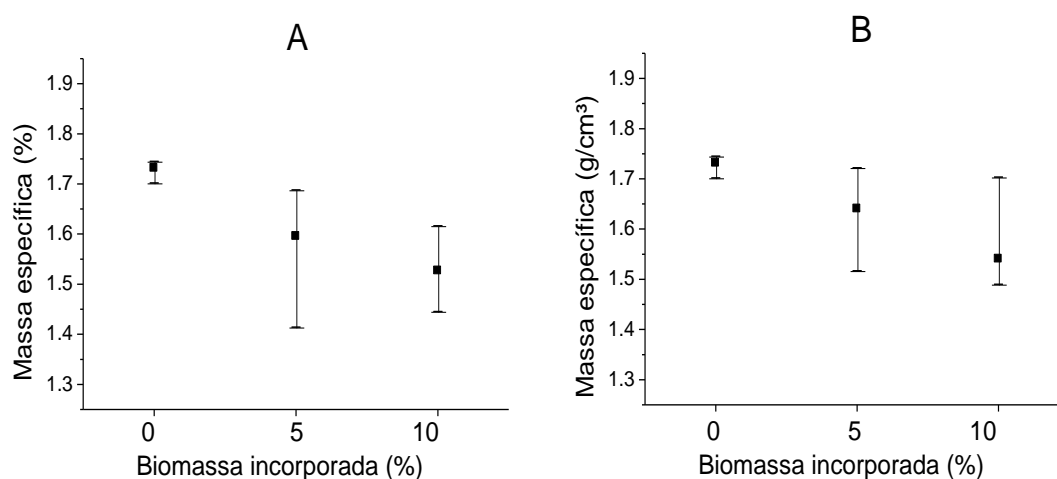


Gráfico 10. Massa específica aparente do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. (A) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *P. parviflora*; (■) Valores médios de massa específica e seus respectivos desvios padrões (n=6).

5.3.6 Resistência à compressão

Em relação à resistência à compressão notaram-se baixos valores de resistividade nos corpos de prova analisados (resistividade < 3,0 MPA), principalmente no que se diz respeito aqueles com incorporação de folhagem

seca de *P. parviflora*. Nestes casos, a resistência foi tão baixa a ponto de não ser possível identificar resistividade em dois corpos de prova testados.

Entretanto, em ensaios com incorporação de *T. domingensis* verificou-se aumento da resistência dos materiais após incremento da biomassa. Os melhores resultados obtidos em relação a este parâmetro foram encontrados em corpos de prova sintetizados com 5% de folhas de *T. domingensis*. Com a incorporação de 10% do mesmo material os valores de resistência tenderam a cair, o que indica a existência de um percentual ótimo de incorporação de biomassa entre os dois valores testados.

Em geral, através da aplicação do ensaio verificou-se que os corpos de prova com incorporação de *T. domingensis* se enquadraram a categoria A para tijolo maciço de alvenaria, apresentando valores de resistência superiores a 1,5 MPA (NBR 7170/1983). Observou-se também que os protótipos sintetizados com *P. parviflora* estão em desconformidade com o estabelecido pela respectiva norma (Gráficos 11 e 12).

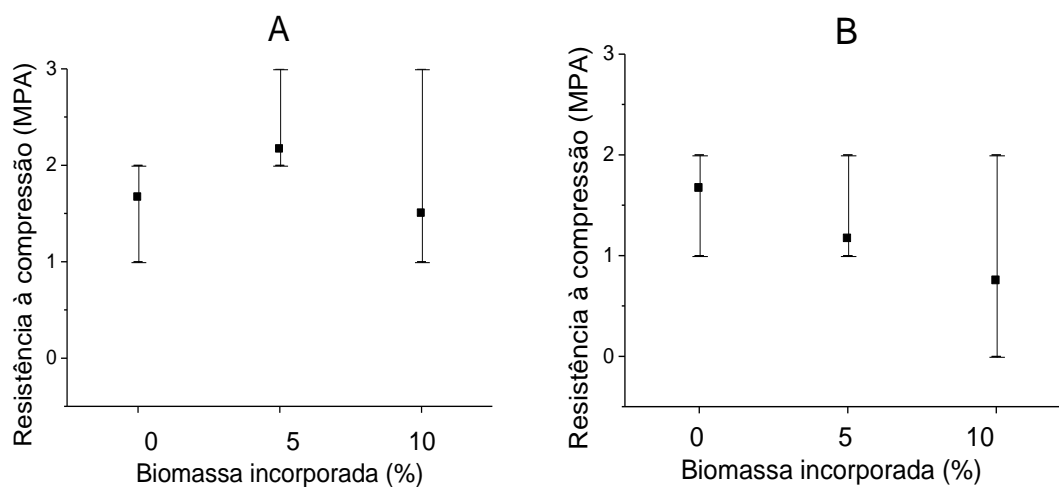


Gráfico 11. Resistência à compressão do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de folhagem seca. (A) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *P. parviflora*; (■) Valores médios de resistência à compressão e seus respectivos desvios padrões (n=6).

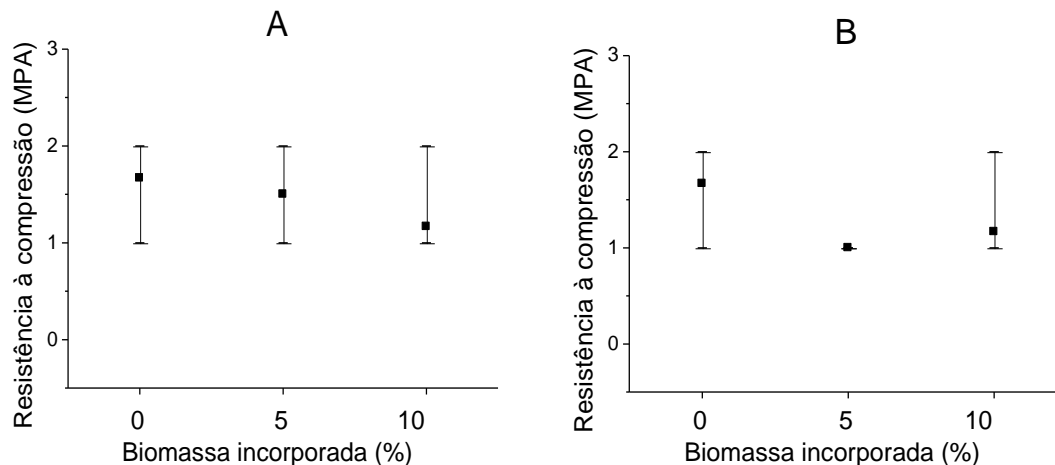


Gráfico 12. Resistência à compressão do testemunho e dos corpos de prova sintetizados em 5% e 10% de raízes secas. (A) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *P. parviflora*; (■) Valores médios de resistência à compressão e seus respectivos desvios padrões (n=6).

Cumprе ressaltar ainda, que os testemunhos analisados não possuem resistência satisfatória, tendo em média resistividade próxima a 1,7 MPA. Albuquerque (2012), em estudos sob condições similares e, utilizando a mesma argila aplicada neste experimento, obteve resistência em testemunhos superior a 7,0 MPA. Acredita-se que a argila pré-processada com o tempo de armazenagem possa perder parte das características que lhe conferem resistência, sendo, portanto, recomendado sua utilização logo após o pré-processamento em olarias.

Com a incorporação de biomassa aos corpos de prova foi possível observar que protótipos com adição de 10% do composto, apesar de apresentarem redução de resistividade, obtiveram ampliação no tempo de resistência do material quando submetidos a forças de tensão (Apêndices D e F). Este dado é importante, pois demonstra que CPs incorporados com 10% de biomassa conseguiram resistir, se comparados a outros corpos de prova, por um maior período de tempo uma mesma tensão de carga sem resultar no rompimento dos protótipos.

Outro fator interessante a se considerar, relaciona-se a diminuição de resistência verificada em corpos de prova com maior concentração do metal. Nestes casos, após processo de queima, observou-se que o cromo presente em protótipos sintetizados com raízes de *T. domingensis* e 10% de folhas de *P.*

parviflora reagiram com a argila, resultando numa variação de coloração do material (Figura 5) e numa possível diminuição da resistência dos compostos, como verificado pela aplicação dos ensaios.



Figura 5. Corpos de prova pós queima com destaque para aqueles sintetizados com 10% de folhas de *P. parviflora* e 10% de raízes de *T. domingensis*
5.3.7 Limite de liquidez

Quanto ao limite de liquidez, que se refere à máxima quantidade de água contida na massa cerâmica ou na argila para ainda ser classificada como moldável, verificou-se que o mesmo apresentou elevação com a incorporação de biomassa ao material argiloso (Gráficos 13 e 14). Em geral, os corpos de prova com adição de folhagem em sua composição foram os que obtiveram maior elevação da liquidez, enquanto que os testemunhos apresentaram os menores índices.

Os valores registrados, em alguns casos, variaram entre 42 e 90% para a liquidez, taxa acima da encontrada por Souto (2009), cuja variação do parâmetro esteve entre 30 e 59%. Essa tendência de suportar uma maior quantidade de água junto à massa argilosa, permitindo com que esta ainda seja moldável, pode estar relacionada à presença de maiores espaços livre observados quando se incorpora folhas aos corpos de prova.

Em contrapartida, em corpos de prova com incremento de raízes verificou-se menor variação do limite de liquidez, sendo registrados valores próximos a 70% quando incorporados 10% de raízes.

Apesar da grande variação obtida em todos os resultados, o limite de liquidez encontrado está de acordo com o estabelecido por Campos (1999), onde são recomendados limites superiores a 50%.

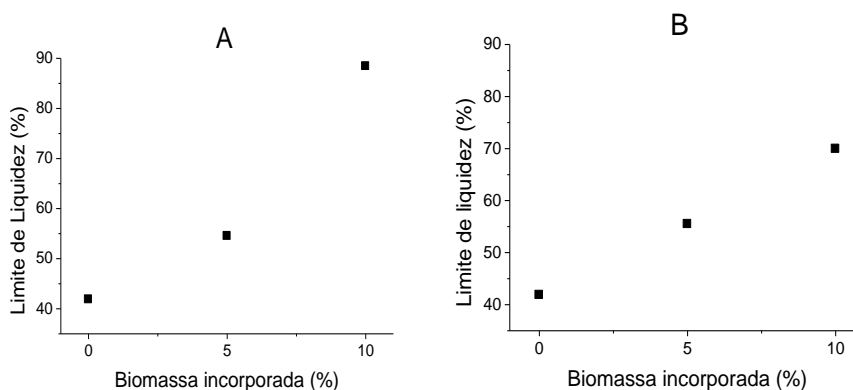


Gráfico 13. Limite de liquidez do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de folhagem seca. (A) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *P. parviflora*.

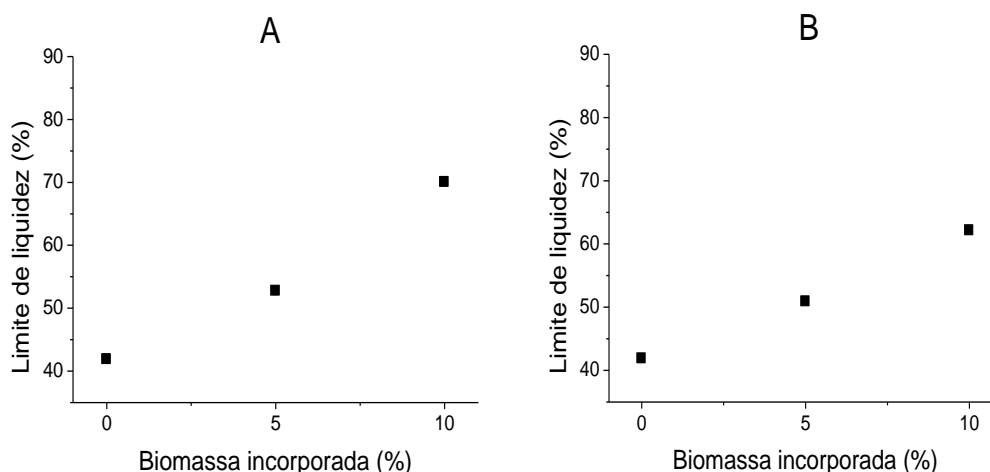


Gráfico 14. Limite de liquidez do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de raízes secas. (A) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *P. parviflora*.

Pela aplicação do teste de variância Kruskal Wallis com teste de média Dun verificou-se que o limite de liquidez está relacionado à capacidade de absorção de água de cada corpo de prova (Apêndice A), não há, portanto, variação significativa entre os dois parâmetros testados ($p > 0,05$). Assim, observou-se que CPs que absorveram maior quantidade de água tenderam a apresentar também maior limite de liquidez.

5.3.8 Limite de plasticidade

O limite de plasticidade do material obteve resultados variados, sendo encontrado aumento de plasticidade com incorporação de 5% de biomassa e diminuição da mesma com incorporação de 10% do material vegetal (Gráficos 15 e 16).

A redução após incorporação de 10% da biomassa foi grande de forma que interferiu na identificação da plasticidade dos CPs, uma característica comum presente em materiais argilosos. Das massas testadas com incremento de 10% de biomassa, somente em testes com incorporação de raízes de *P. parviflora* foi possível determinar o limite de plasticidade.

Resultados como estes, com elevação de plasticidade após incorporação de 5% de biomassa e redução da mesma ao incorporar 10% de material vegetal foram obtidos também em outros estudos (ALBUQUERQUE, 2012; FERREIRA, 2012), o que demonstra a existência de um limite de biomassa a ser incorporada e que após atingir esta saturação a plasticidade tende a decair.

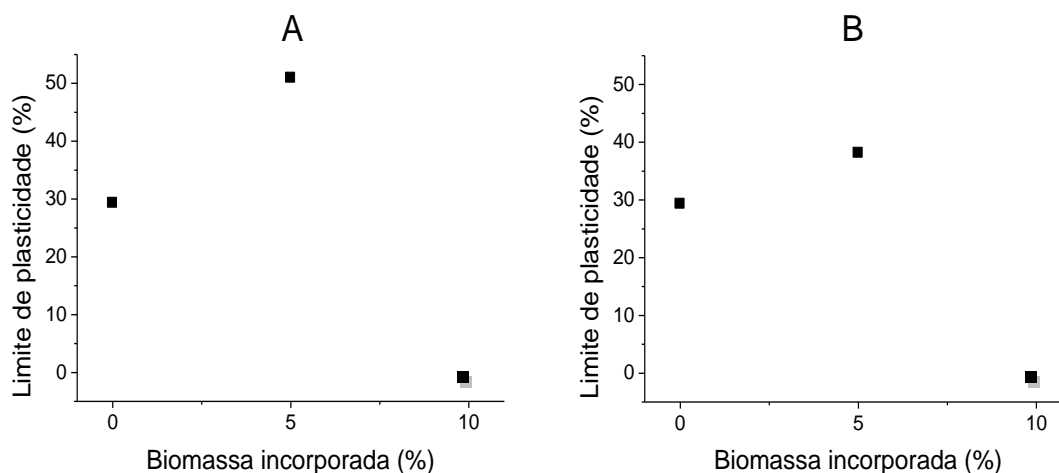


Gráfico 15. Limite de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de folhagem seca. (A) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *P. parviflora*.

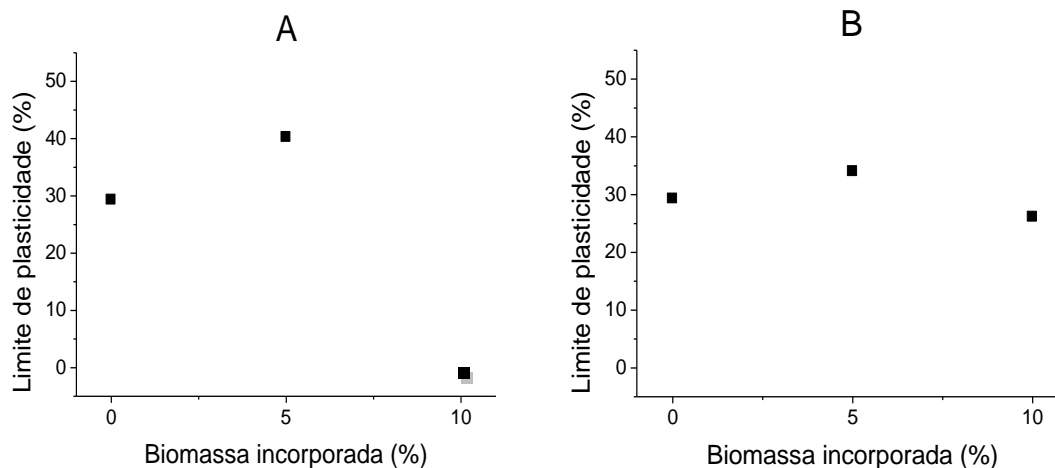


Gráfico 16. Limite de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de raízes secas. (A) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *P. parviflora*.

5.3.9 Índice de plasticidade

Em relação aos índices de plasticidade não foi possível determinar valores para massas argilosas não plásticas, visto que estas apresentam pouca plasticidade e, por isso, impossibilitam sua determinação.

Em contrapartida, através da aplicação do estudo, verificou-se que com a incorporação de diferentes percentagens de biomassa o índice de plasticidade, assim como seu limite, tende a aumentar até atingir uma taxa que também comece a decair. Pela análise dos resultados, notou-se ainda que o índice de plasticidade esteve em todos os casos abaixo de 20% e que os menores índices foram registrados em massas argilosas sem incorporação de biomassa (Gráficos 17 e 18).

Os valores obtidos comprovam bons resultados, com limites de plasticidade apresentando pouca variação se comparados a outros trabalhos da área (KAMINATA, 2008; SOUTO, 2009; ALBUQUERQUE 2012) e em conformidade com o esperado para argilas plásticas, com índices inferiores a 47% (CAMPOS, 1999).

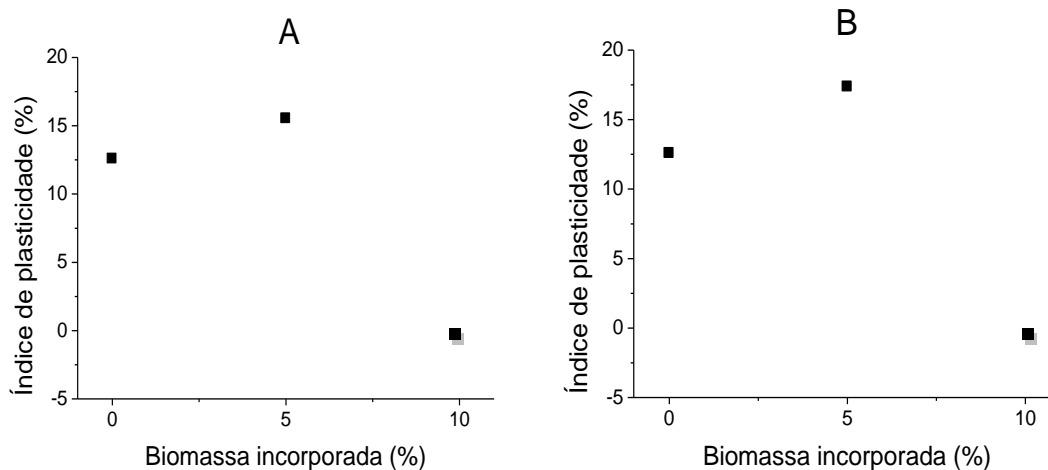


Gráfico 17. Índice de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de folhagem seca. (A) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com folhas de *P. parviflora*.

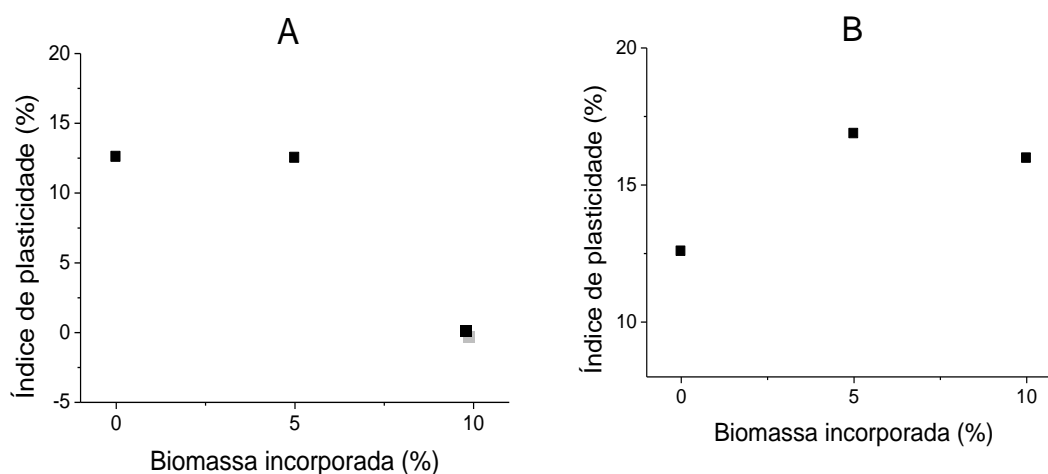


Gráfico 18. Índice de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de raízes secas. (A) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *T. domingensis*; (B) testes realizados em CPs incorporados com raízes de *P. parviflora*.

Pela observação dos resultados para os testes de limite de liquidez, de plasticidade e índice de plasticidade foi possível constatar tendência de “plastificação”, ou seja, aumento da plasticidade do material com o incremento de uma maior quantidade de biomassa na composição das massas argilosas. O resultado encontrado diverge com o obtido por Ferreira (2012), em que os testes demonstram “emagrecimento” da massa argilosa com a incorporação de biomassa.

Através dos testes de índice de plasticidade e limite de liquidez foi possível classificar o solo pela presença de propriedades plásticas. O gráfico da figura 6 foi utilizado para devida classificação, onde todas as massas argilosas testadas em diferentes composições foram classificadas como argilas orgânicas, siltes orgânicos e siltes-argilas altamente plásticas. Classificou-se ainda, o testemunho, com predominância de siltes orgânicos.

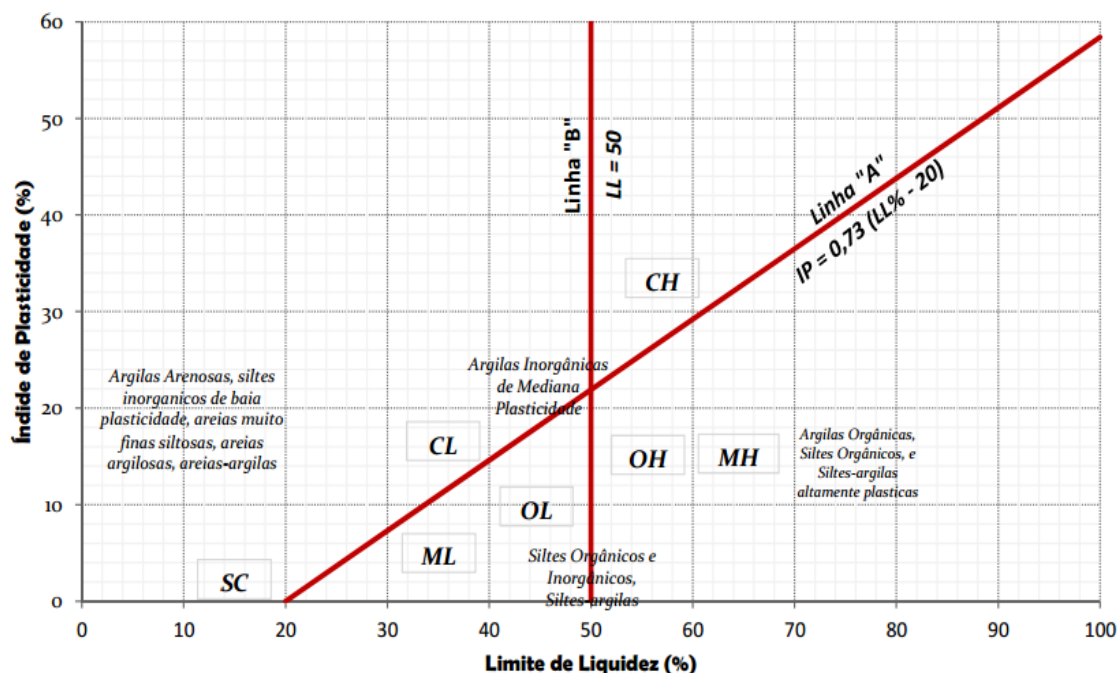


Figura 6. Gráfico de plasticidade
Fonte: UDESC (2013)

3.9.10 Lixiviação dos corpos de prova

Quanto ao processo de lixiviação, verificou-se baixa concentração de cromo após aplicação da metodologia proposta. Os resultados estiveram, de maneira geral, abaixo da máxima concentração de cromo aceitável pela NBR 10004/2004, com limite de concentrações inferiores a 5,0 mg/L de cromo para o lixiviado. No referente estudo, foram verificadas em todos os corpos de prova concentrações do metal inferiores a 0,1 mg/L (Tabela 6), estando em conformidade com o estabelecido pela norma.

Tabela 6. Resultados de lixiviação para cromo total em amostras de blocos cerâmicos

| Descrição de amostras | Cromo no lixiviado (mg.L ⁻¹) |
|-----------------------|--|
| Testemunho | 0,000 |

| | | |
|-----------------------|-------------------------------|--------|
| | CP ¹ - 5% de folha | 0, 010 |
| <i>T. domingensis</i> | CP - 10% de folha | 0, 026 |
| | CP - 5% de raiz | 0, 035 |
| | CP - 10% de raiz | 0, 100 |
| <i>P. parviflora</i> | CP - 5% de folha | 0, 045 |
| | CP - 10% de folha | 0, 084 |
| | CP - 5% de raiz | 0, 003 |
| | CP - 10% de raiz | 0, 023 |

1 – CP: refere-se aos corpos de prova

Os maiores valores de lixiviado foram constatados em corpos de prova sintetizados com raízes de *T. domingensis* e folhas de *P. parviflora*, sendo estes, respectivamente, os protótipos com maior acúmulo de cromo após realização de teste de bioacumulação.

Quanto ao testemunho, verificou-se que a concentração identificada de cromo na argila foi próxima a 23 mg/L. Quanto a aplicação do teste de lixiviação, em decorrência das baixas concentrações do metal (Cr < 0,004 mg/L) presente no lixiviado não foi possível detectar sua concentração. A diferença no aspecto físico, principalmente a porosidade da argila, foi possivelmente um dos fatores que influenciaram na lixiviação do metal no testemunho, fazendo, deste modo, com que a maior parte cromo permanecesse aderida as partículas do solo (BAGESIO, 2004).

Pela aplicação do teste de variância Kruskal Wallis com teste de média Dun verificou-se a existência de variação significativa ($p < 0,05$) entre o lixiviado, a capacidade de absorção de água de cada CP e o limite de liquidez. Desta forma, notou-se que a concentração de lixiviado não esteve diretamente relacionada a estes dois parâmetros (Apêndice A).

Verificou-se ainda que o parâmetro de lixiviação associou-se a resistência a compressão dos corpos de prova testados. Pela análise de variância entre o lixiviado e a resistência observou-se que não houve variação significativa entre os parâmetros ($p > 0,05$), demonstrando, de acordo com os dados aumento da concentração do lixiviado com a diminuição da resistência à compressão em cada CP.

A concentração de cromo no lixiviado foi cerca de 1000 vezes menor que a concentração registrada nos tecidos vegetais, demonstrando que o metal na presença de água possuiu baixa lixiviação e permaneceu, em sua grande maioria, aderido as paredes do material sólido.

3.9.11 Análise estatística – Teste de Shapiro Wilk

Em relação à análise estatística dos dados obtidos, tendo como forma de tratamento as espécies de plantas, observou-se que os dados amostrais são normais pela aplicação do Teste de Shapiro Wilk.

Pelo presente teste, como $p < 0,05$ ao testar-se a diferença entre o incremento do material percebeu-se que não há variação significativa entre os dados dos corpos de prova sintetizados com e sem biomassa (Tabela 7).

Tabela 7. Aplicação do teste de Shapiro Wilk para análise da diferença do incremento de biomassa

| FONTES DE VARIAÇÃO | GL | SQ | QM |
|---------------------------|-----------|------------|-----------|
| Tratamentos | 8 | 208, 149 | 26, 019 |
| Erro | 81 | 35, 1 e+03 | 433, 210 |
| F = | 0, 0601 | | |
| (p) = | 0, 9996 | | |

Analisando-se a diferença entre a adição de 5% de *T. domingensis* ou de *P. parviflora* aos corpos de prova, notou-se que não há variação significativa entre as espécies testadas ou entre as partes da planta (sistema radicular ou aéreo). O mesmo também foi observado para o acréscimo de 10% de biomassa aos protótipos (Tabela 8).

Neste contexto, pela aplicação do Teste de Shapiro Wilk perceberam-se poucas mudanças na qualidade do material testado quando incorporados aos CPs sistemas radiculares e sistemas aéreos separadamente, podendo desta forma ser trabalhados conjuntamente em estudos futuros.

Tabela 8. Aplicação do teste de Shapiro Wilk para análise de diferentes biomassas

| FONTES DE VARIACÃO | GL | SQ | QM |
|--|-----------|------------|-----------|
| <i>P. parviflora</i> X <i>T. domingensis</i> | 1 | 0, 2952 | 0, 2952 |
| Folha 5% X folha 10% X raiz 5% X raiz 10% | 3 | 60, 4436 | 20, 1479 |
| (Plantas X % de biomassa (raiz ou folha)) | 3 | 111, 1776 | 37, 0592 |
| Erro | 72 | 33078, 551 | 459, 4243 |
| F (<i>P. parviflora</i> X <i>T. domingensis</i>) = | 0, 0006 | | |
| Graus de liberdade = | 1, 72 | | |
| p (<i>P. parviflora</i> X <i>T. domingensis</i>) | 0, 9780 | | |
| F (folha 5% X folha 10% X raiz 5% X raiz 10%) = | 0, 0439 | | |
| Graus de liberdade = | 3, 72 | | |
| p (folha 5% X folha 10% X raiz 5% X raiz 10%) = | 0, 9871 | | |
| F (Plantas X % de biomassa (raiz ou folha)) = | 0, 0807 | | |
| Graus de liberdade = | 3, 72 | | |
| p (Plantas X % de biomassa (raiz ou folha)) = | 0, 9695 | | |

Pelo trabalho realizado por Albuquerque (2012) verificou-se que alguns parâmetros testados como: perda ao fogo, absorção de água, massa específica e resistência à compressão foram significativamente alterados com o incremento de biomassa aos corpos de prova, implicando, deste modo, na mudança de qualidade do material cerâmico.

Como determinado pela aplicação do Teste de Shapiro Wilk observou-se que as plantas testadas são similares entre si e, portanto, os parâmetros que se alteraram com a incorporação de biomassa de *P. parviflora* também tenderam a variar após incorporação de *T. domingensis* aos CPs.

Percebeu-se ainda a existência de um percentual ótimo de incorporação de biomassa aos CPs estabelecido entre as faixas de 5% e 10% de incorporação. Deste modo, recomenda-se em trabalhos futuros a aplicação de novos ensaios testando diferentes incrementos de biomassa entre faixas de variação dos percentuais analisados.

6 CONCLUSÃO

Por todo exposto observou-se que as macrófitas testadas apresentaram formas distintas de bioacumulação do cromo. Enquanto a espécie *T. domingensis* absorveu e concentrou maior quantidade do metal em suas raízes, a *P. parviflora* encaminhou um maior percentual do composto para seu sistema aéreo.

Apesar da eficiente remoção constatada nos dois sistemas de tratamento testados, notou-se que os leitos cultivados com *T. domingensis* obtiveram melhor absorção e acumularam cerca de 90% do cromo incipiente no sistema.

Em relação aos CPs, observou-se, de forma geral, a obtenção de resultados satisfatórios, atendendo aos parâmetros estabelecidos em norma vigentes e a recomendações sugeridas por diferentes autores.

Cumprе ressaltar que os CPs sintetizados com *P. parviflora* apresentaram baixa resistividade e, portanto, não se enquadraram a resistência exigida em mercado. Nestes casos, antes de serem utilizados em blocos cerâmicos recomenda-se a aplicabilidade de novos ensaios com a utilização de massas argilosas recentemente pré-processadas para, deste modo, novamente determinar a resistência à compressão presente no material de estudo.

De acordo com a realização dos testes estatísticos observou-se que as plantas testadas são similares entre si e não apresentaram variação significativa de qualidade dos corpos de prova com a incorporação de sistemas aéreos e radiculares trabalhados separadamente. Quanto aos parâmetros observados a maioria é dependente entre si e se associa de acordo com suas características.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Felipe P. de. **Confecção de blocos cerâmicos com incorporação de biomassa contaminada por cobre**. 2012. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012

ALMEIDA, Alex A. F. de; VALLE, Raúl R.; MIELKE, Marcelo S.; GOMES, Fábio P. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. **Braz. J. Plant Physiol.** Londrina, v. 19, n. 2, p. 83-98, abr./jun. 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Determinação do Limite de Liquidez – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984a.

_____. **NBR 7170**: tijolo maciço para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983

_____. **NBR 7171**: Bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7180**: Determinação do Limite de Plasticidade – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984b.

_____. **NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 10004**: Classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15270**: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

BAKER, Alan J. M.; BROOKS, Richard R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: a review of their distribution, ecology and phytochemistry. **Biorecovery**, Washington, n. 1, p.81-126, 1989.

BASEGIO, Tânia M. **Imobilização do íon cromo oriundo de cinzas de incineração de serragem de couro em corpos cerâmicos vitrificados.** 2004. 134 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2004.

BONET, Ivan I. **Valorização do resíduo areia de fundição (RAF): incorporação nas massas asfálticas do tipo C.B.U.Q.** 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BORGES, Marisa S. **Proposta para o estabelecimento de um programa de gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa: estudo de caso dos laboratórios de biologia celular.** 2003. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União, Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, DF, 08 out 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf>>. Acesso em: 08 out 2013.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, DF, 10 out 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 out 2013.

BRASIL. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União, Ministério da Saúde**, Brasília, DF, 15 out 2013. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 15 out 2013.

BRAYNER, Fátima M. M. **Determinação de taxas de retenção de metais-traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana.** 1998. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

CAMPOS, L. F. A.; MACEDO, R. S.; KIYOHARA, P. K.; FERREIRA, H. C. Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 45, n. 295, p. 6-14, mai. 1999.

CASTRO, Joana D. B.; NOGUEIRA, Luana F. Análise de controle da poluição das indústrias farmacêuticas de Anápolis. **Uni Evangélica**. Anápolis, v., n. 18, p. 51-63, jan/jul. 2007.

COSTA, Sylvia M. P. da. **Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em "wetlands construídos"**. 2004. 119 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CUNNINGHAM, Scott. D.; ANDERSON, Todd. A.; SCHWAB, Paul.; HSU, Francis. C.. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Advances in Agronomy**. San Diego, v. 56, n. 1, p. 55-114, mai. 1996.

DINARDI, Andrew L.; FORMAGI, V. M.; CONEGLIAN, Cassiana M. R.; BRITO, Núbia N.; SOBRINHO, Geraldo D.; TONSO, Sandro; PELEGRINI, Ronaldo. **Fitorremediação**. In: III Fórum de Estudos Contábeis, UNICAMP, Limeira, SP, 2003.

DONDI, Michele. Caracterização tecnológica dos materiais argilosos: métodos experimentais e interpretação dos dados. **Revista Cerâmica Industrial**. São Paulos V. 11, n. 3, p. 36-40, mai/jun. 2006.

FERREIRA, Alba D. de Q. O impacto do crômio nos sistemas biológicos. **Química Nova**. Ribeirão Preto, v. 25, n. 4, p. 572-578, jul. 2002.

FERREIRA, Igor J. M.; LIMA, Sônia B. de; SOUZA, Débora C. de; CARVALHO, Karina, Q. de. Reaproveitamento de biomassa seca de *eleocharis* spp. na produção de blocos cerâmicos. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 17., 2012, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: UTFPR, 2012. Disponível em: <
<http://conferencias.utfpr.edu.br/ocs/index.php/sicite/2012/paper/viewFile/344/498>>. Acesso em: 08 jul. 2013.

FRANCO, Luiz S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. 1992. 319 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FREITAS, Tânia C. M de. **O cromo na indústria de curtumes de Mato Grosso do Sul, Brasil: Aspectos Ecológicos**. 2006. 136 f. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) – Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2006.

GIORDANO, Ghandhi. 2004. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/LivialostGallucci/apostila-tratamento-de-efluentes-industriais>>. Acesso em: 08 out. 2013.

GODECKE, Marcos V.; RODRIGUES, Marco A. S.; NAIME, Roberto H. Resíduos de curtumes: estudo das tendências de pesquisa. **Revista em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria, v. 7, n. 7, p. 1357-1378, mar./ago. 2012.

GOMES, Mariana; ROGERO, Marcelo M.; TIRAPÉGUI, Julio. Considerações sobre cromo, insulina e exercícios físicos. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. São Paulo, v. 11, n. 5, p. 262-266, set./out. 2005.

BICUDO, Helene M. **Sociedades sustentáveis**. São Paulo: Scipione, 1994.

HARBEL, Rubber. Constructed wetlands: a chance to solve wastewater problems in developing countries. **Water Science and Technology**. London, v. 40, n. 3, p. 1-17. 1999.

HENRY-SILVA, Gustavo G.; CAMARGO, Antônio F.M. Avaliação sazonal da biomassa da macrófita aquática *Eichhornia azurea* em um rio de águas brancas da bacia hidrográfica do rio Itanhaém (litoral sul do estado de São Paulo, Brasil). **Hoehnea**., v.30, p. 71-77, 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TÉCNICAS – IPT. **Ensaio de argila visando à utilização em cerâmica vermelha**. São Paulo: IPT, 1985.

KAMINATA, Oswaldo T. **Aproveitamento do lodo gerado no tratamento de efluente da indústria de lavanderia têxtil na produção de bloco de cerâmica vermelha**. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

LEAL, Georla C. S. de G.; FARIAS, Maria S. S. de; ARAUJO, Aline de F. O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano. **Qualit@s Revista Eletrônica**. João Pessoa, v. 7, n. 1, p. 1-11. 2008.

Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/viewFile/128/101>>. Acesso em: 07 jul. 2013

LEITE, Maurício A. **Análise e Aporte da Taxa de Sedimentação e da Concentração de Metais na Água, Plânctons e Sedimentos do Reservatório de Salto Grande**. 2002. 199 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, 2002.

LIMA, Sônia B. de. **Pós-tratamento de chorume com wetlands construídos utilizando macrófitas aquáticas emergentes da região de Campo Mourão-PR**. 2008. 86 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Pós-Graduação em Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

LIMA, Verônica F.; MERÇON, Fabio. Metais pesados no ensino de química. **Revista Química Nova na Escola**. São Paulo, v. 33, n. 4, p. 199-205, nov. 2011.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**. São Paulo: Produquímica Indústria e Comércio Ltda, 1994.

MARTINS, Ana P. L. **Capacidade do Polygonum hydropiperoides e Typha domingensis na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na região da bacia do Ivaí**. Curitiba, 2008.

MELLO, Roberta M. **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha**. 2006. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações Materiais) – Programa de Pós-graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2006.

MELQUIADES, Fábio L.; GONÇALVES, Gelsy W. P. S.; SILVA, Wislley D.; PARREIRA, Paulo S.; APPOLONI, Carlos R. Monitoramento de metais nos lagos igapó em Londrina, PR, usando a metodologia de EDXRF. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**. Londrina, v. 29, n. 2, p. 129-138, jul./set. 2008

MENEZES, Romualdo R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. de A.; FERREIRA, H. C. Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. **Cerâmica**, São Paulo, v. 48, n. 306, abr./jun. 2002.

MENEZES, Romualdo R.; de ALMEIDA, Rafael R., SANTANA, Lisiane N.L., FERREIRA, Heber S., NEVES, Gelmires A. Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos. **Revista Matéria**. CIDADE, v. 12, n. 1, p. 226- 236, out./ dez. 2007.

NIRENBERG, Larissa P.; FERREIRA, Osmar M. **Tratamento de águas residuárias de indústria de laticínios: eficiência e análise de modelos matemáticos do projeto da Nestlé**. Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 2005.

ODUM, Eugene P.; BARRETT, Gary. W. **Fundamentos de ecologia**. 5. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

OLIVEIRA G. E.; HOLANDA, José N. F. Análise do Impacto Ambiental Causado Pela Utilização de Resíduo Sólido do Setor Siderúrgico em Cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**. São Paulo, v. 50, n. 315, p. 185-189 jul./set. 2004.

PELLERIN, Cheryl; BOOKER, Susan M. Reflections on hexavalent chromium. **Environmental Health Perspectives**. Basel, v. 108, n. 9, p. 403-407, 2000.

RAMOS, Marcos R.; SOUZA, Débora C. de; LIMA, Sônia B. de; FRANCO, Janaina de M.; BASSANI, Fabiane; BOLZANI, Hugo R.; BELLONI, Diego F.; TAVARES, Célia R. G.; LAUTENSCHLAGER, Sandro R. Remoção da carga orgânica de água residuária de lavanderia têxtil utilizando *Pontederia parviflora* Alexander. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 1., 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABAS, 2009. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21957/14326>>. Acesso em: 13 out. 2013.

RÊGO, Vilson R. **Avaliação da conformidade de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação produzidos na região integrada de desenvolvimento da grande Teresina**. 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

ROCHA, Júlio C.; ROSA, André H.; CARDOSO, Arnaldo A. **Introdução a química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SANTANA, Gustavo P. **Elemento traço ou metal pesado?**. 2008. Disponível em:

<http://www.cq.ufam.edu.br/Artigos/Elemento_metal_pesado/Elemento_metal_pesado.html>. Acesso em: 07 jul. 2013.

SCHOLZ, Miklas ; XU, Jing. Comparison of constructed reed beds with different filter media and macrophytes treating urban stream water contaminate with lead and copper. **Ecological Engineering**. v. 18, n. 3, p. 385- 390, 2002.

SCRAGG, Alan. **Environmental Biotechnology**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 2007.

SISTEMA METEREOLÓGICO DO PARANÁ – SIMEPAR. **Informações do tempo**. 2013. Disponível em: <<http://www.simepar.br/>>. Acesso em: 08 out. 2013.

SOUTO, Flávio A. F. **Avaliação das características físicas, químicas e mineralógicas da matéria-prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha nos municípios de Macapá e Santana – AP**. 2009. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

SOUZA, Laila T. de. **Eficiência da *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult na absorção do cromo (III)**. 2013. 30 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

TUCCI, Carlos E. M.; HESPANHOL, Ivanildo; NETTO, Oscar de M. C. **Gestão da Água no Brasil**. 1. ed. Brasília: UNESCO, 2001.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC. **Gráfico de Plasticidade**. Joinville: UDESC, 2013. Disponível em: <<http://www.didaticasp.com.br/>> Acesso em: 07 jan. 2014.

APÊNDICE A – Aplicação do teste de Kruskal Wallis com teste de média Dun para verificação da análise de variância entre os parâmetros testados. Onde os postos médios referem-se aos seguintes parâmetros: (2) retração linear pós estufa; (3) retração linear pós queima; (4) perda ao fogo; (5) absorção de água; (6) massa específica; (7) resistência à compressão; (8) limite de liquidez; (9) limite de plasticidade; (10) índice de plasticidade; (11) lixiviação

| Comparações (método de Dun) | Dif. Postos | z calculado | z crítico | p |
|-----------------------------|-------------|-------------|-----------|--------|
| Postos médios2 e 3 | 8.8889 | 0.7218 | 3.126 | ns |
| Postos médios2 e 4 | 29.5556 | 2.3999 | 3.126 | ns |
| Postos médios2 e 5 | 49.6667 | 4.0329 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios2 e 6 | 25.2222 | 2.0480 | 3.126 | ns |
| Postos médios2 e 7 | 19.6667 | 1.5969 | 3.126 | ns |
| Postos médios2 e 8 | 64.6667 | 5.2509 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios2 e 9 | 32.3333 | 2.6255 | 3.126 | ns |
| Postos médios2 e 10 | 22.3333 | 1.8135 | 3.126 | ns |
| Postos médios2 e 11 | 10.6667 | 0.8661 | 3.126 | ns |
| Postos médios3 e 4 | 20.6667 | 1.6781 | 3.126 | ns |
| Postos médios3 e 5 | 40.7778 | 3.3111 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios3 e 6 | 16.3333 | 1.3263 | 3.126 | ns |
| Postos médios3 e 7 | 10.7778 | 0.8752 | 3.126 | ns |
| Postos médios3 e 8 | 55.7778 | 4.5291 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios3 e 9 | 23.4444 | 1.9037 | 3.126 | ns |
| Postos médios3 e 10 | 13.4444 | 1.0917 | 3.126 | ns |
| Postos médios3 e 11 | 19.5556 | 1.5879 | 3.126 | ns |
| Postos médios4 e 5 | 20.1111 | 1.6330 | 3.126 | ns |
| Postos médios4 e 6 | 4.3333 | 0.3519 | 3.126 | ns |
| Postos médios4 e 7 | 9.8889 | 0.8030 | 3.126 | ns |
| Postos médios4 e 8 | 35.1111 | 2.8510 | 3.126 | ns |
| Postos médios4 e 9 | 2.7778 | 0.2256 | 3.126 | ns |
| Postos médios4 e 10 | 7.2222 | 0.5864 | 3.126 | ns |
| Postos médios4 e 11 | 40.2222 | 3.2660 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios5 e 6 | 24.4444 | 1.9849 | 3.126 | ns |
| Postos médios5 e 7 | 30.0000 | 2.4360 | 3.126 | ns |
| Postos médios5 e 8 | 15.0000 | 1.2180 | 3.126 | ns |
| Postos médios5 e 9 | 17.3333 | 1.4075 | 3.126 | ns |
| Postos médios5 e 10 | 27.3333 | 2.2195 | 3.126 | ns |
| Postos médios5 e 11 | 60.3333 | 4.8991 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios6 e 7 | 5.5556 | 0.4511 | 3.126 | ns |
| Postos médios6 e 8 | 39.4444 | 3.2029 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios6 e 9 | 7.1111 | 0.5774 | 3.126 | ns |
| Postos médios6 e 10 | 2.8889 | 0.2346 | 3.126 | ns |
| Postos médios6 e 11 | 35.8889 | 2.9142 | 3.126 | ns |
| Postos médios7 e 8 | 45.0000 | 3.6540 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios7 e 9 | 12.6667 | 1.0285 | 3.126 | ns |
| Postos médios7 e 10 | 2.6667 | 0.2165 | 3.126 | ns |
| Postos médios7 e 11 | 30.3333 | 2.4631 | 3.126 | ns |
| Postos médios8 e 9 | 32.3333 | 2.6255 | 3.126 | ns |
| Postos médios8 e 10 | 42.3333 | 3.4375 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios8 e 11 | 75.3333 | 6.1171 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios9 e 10 | 10.0000 | 0.8120 | 3.126 | ns |
| Postos médios9 e 11 | 43.0000 | 3.4916 | 3.126 | < 0.05 |
| Postos médios10 e 11 | 33.0000 | 2.6796 | 3.126 | ns |

