

## ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO EM MISTURAS COM ARGILA LATERÍTICA PARA APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS

### **Jessamine P. de Oliveira**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
[jessamine1995@hotmail.com](mailto:jessamine1995@hotmail.com)

### **Tainara Kuyven**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
[taia-kuyven@hotmail.com](mailto:taia-kuyven@hotmail.com)

### **Katuay Zarth**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
[katuayz@gmail.com](mailto:katuayz@gmail.com)

### **Leonardo B. de Mello**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
[leobrmello@hotmail.com](mailto:leobrmello@hotmail.com)

### **Taciane P. Fracaro**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
[taci\\_fracaro@hotmail.com](mailto:taci_fracaro@hotmail.com)

### **Carlos A. S. P. Wayhs**

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ)  
[engcaw@gmail.com](mailto:engcaw@gmail.com)

**Resumo.** Diante da situação rodoviária no Brasil, assim como o contexto financeiro vivido nacionalmente, se faz necessário a busca de materiais alternativos aos usuais para serem incorporados nas camadas dos pavimentos. Assim, buscou-se descobrir se a utilização de areia de descarte de fundição (ADF) misturado com solo regional laterítico em misturas conhecidas como ALA melhora o desempenho do solo em pavimentos, buscando o teor ideal. Os ensaios avaliaram o desempenho de misturas com teores de 20, 30 e 40% de ADF. A metodologia da pesquisa compreendeu a preparação de amostras, realização de ensaios de caracterização e da metodologia MCT, apresentação e análise dos

resultados dos ensaios, finalizando com o tecimento das principais conclusões da pesquisa. Percebeu-se grande semelhança com os resultados obtidos em misturas ALA já estudadas, mostrando que quanto maior o teor do resíduo melhor é o desempenho da mistura, assim a mistura com 40% de ADF apresentou melhores resultados.

**Palavras-chave:** Misturas ALA. Materiais alternativos. Areia de descarte de fundição.

## 1. INTRODUÇÃO

O contexto atual em que se encontra a pavimentação no Brasil requer a busca por

materiais alternativos que possam ser adicionados em camadas de pavimento, almejando uma diminuição dos custos no setor rodoviário.

De acordo com o Sistema Nacional de Viação (SNV) (SNV, 2015) dentro do cenário rodoviário brasileiro a jurisdição municipal possui pequena porcentagem das rodovias pavimentadas e conseqüentemente grande quantidade de não pavimentadas. Della Flora (2015) concluiu que estes dados são conseqüências do alto custo dos materiais usualmente constituintes de camadas do pavimento e da escassez dos recursos públicos ao setor.

Diante disso, motivado pela pesquisa de Villibor e Nogami (2009), surgiu a nível institucional o projeto de pesquisa “Estudo de Solo Argiloso Laterítico para Uso em Bases de Pavimentos Econômicos”, que analisa a substituição de bases convencionais de pavimentos por outras que utilizem solos do próprio local da rodovia, de modo natural ou em misturas. Este trabalho pretende relatar pesquisa que analisou a aplicação de areia de descarte de fundição (ADF) como agregado miúdo com solo regional laterítico em misturas conhecidas como ALA (argila laterítica e areia), para melhoramento no desempenho do solo em pavimentos, diagnosticando também o teor ideal para utilização e exequibilidade técnica, e que foi tema do trabalho de conclusão de curso de Zappe (2017).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item serão descritas conceituações relevantes indispensáveis para o desenvolvimento do relato em questão, principalmente no que se refere à classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical), propostas por Villibor e Nogami (2009), que apresenta de melhor forma o desempenho de solos argilosos lateríticos, já utilizados em

pesquisas destes autores, apresentando bons resultados para bases e sub-bases de pavimentos econômicos. O capítulo divide-se em pavimentos econômicos, solos tropicais lateríticos e a classificação MCT.

### 2.1 Pavimentos econômicos

A pavimentação tem a função de proporcionar um tráfego confortável e seguro, com estruturas e materiais capazes de suportar os esforços provenientes da ação do tráfego juntamente com as condições climáticas, apresentando um mínimo custo, ou seja, buscando, sempre que possível, o aproveitamento de materiais locais para as obras, garantindo um bom desempenho em termos de custos operacionais e de manutenção ao longo dos anos de serviço dessa infraestrutura social (BALBO; 2007, p.16).

Villibor et al. (2009) comentaram que um pavimento é considerado de baixo custo quando utiliza bases de solos locais in natura, ou em misturas, com custo substancialmente inferiores às bases convencionais (brita-graduada, solo-cimento, macadame hidráulico ou macadame betuminoso), quando utilizar revestimento betuminoso esbelto (espessura máxima de 3 cm) ou quando for dimensionado para atender os tráfegos urbanos, de muito leve a leve, ou rodoviário com VDM inferior a 1500 veículos, com no máximo 30% de veículos comerciais, e  $N_t$  menor do que  $10^6$  solicitações do eixo padrão de 80 kN.

Os mesmos autores ainda citam como tipos de bases de baixo custo utilizados em pavimentos econômicos as bases de Solos Arenosos Finos Lateríticos (SAFL), de Argila Laterítica e Areia (ALA) e Solo Laterítico - Agregado Descontínuo (SLAD). Um detalhamento é apresentado na seção transversal típica de um pavimento considerado econômico da Fig. 1 proposto em Villibor e Nogami (2009).

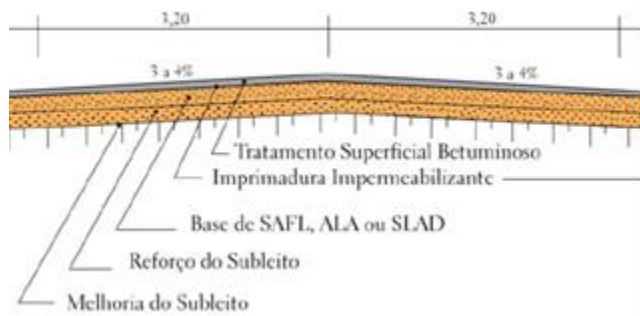


Figura 1. Pavimento Econômico

## 2.2 Solos tropicais lateríticos

Segundo Villibor e Nogami (2009), para que um solo possa ser considerado tropical, não necessita apenas ter sido formado na faixa tropical ou região de clima tropical úmido do país, ele deve também possuir peculiaridades de interesse geotécnico. Dentre os solos tropicais destacam-se os solos lateríticos e os solos saprolíticos.

Conforme Pinto (2006, p. 47), “de particular interesse para o Brasil é a identificação dos solos lateríticos. Os solos lateríticos têm sua fração argila constituída predominantemente de minerais cauliníticos e apresentam elevada concentração de ferro e alumínio na forma de óxidos e hidróxidos”. Ainda complementa que os solos lateríticos apresentam-se geralmente não saturados, com índice de vazios elevado, justificando sua pequena capacidade de suporte. Contudo, quando compactados, sua capacidade de suporte é elevada, por isso são muito empregados em pavimentação.

Os lateríticos, consoante a Villibor et al. (2009, p. 20), são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, resultantes de laterização, processo de transformação da parte superior do subsolo pelo intemperismo. A Fig. 2 mostra a ocorrência destes solos no Brasil, apresentado em Villibor e Nogami (2009, p. 206), onde

observa-se na região noroeste do RGS a predominância dos solos argilosos lateríticos.



Figura 2. Ocorrência de Solos Lateríticos

## 2.3 Classificação MCT

Bernucci et al. (2008) comentou que “a prática da engenharia mostrou que as técnicas tradicionais de classificação e hierarquização aplicadas aos solos tropicais lateríticos e saprolíticos eram ineficientes e inadequadas, pois não inferiam corretamente as propriedades mecânicas.”

Tendo em vista as dificuldades e deficiências no uso das classificações tradicionais desenvolvidas para solos de clima frio e temperado, quando empregadas em solos de ambientes tropicais, Nogami e Villibor desenvolveram metodologia específica para solos compactados tropicais. A sistemática é caracterizada pela utilização de corpos de prova cilíndricos, de dimensões reduzidas, com diâmetro de 50 mm e altura igual ou próxima dessa medida.

“A técnica permite avaliar propriedades fundamentais dos solos associados à contração, permeabilidade, expansão, coeficiente de penetração d’água, coesão,

capacidade de suporte e famílias de curvas de compactação” (DNIT, 2006, p. 66).

Para a classificação por este método deve ser realizados os ensaios de compactação mini-MCV (M5) descrito pela DNER-CLA 258 (DNIT, 1994c) e perda de massa por imersão (M8) regulamentado pela norma DNER-ME 256 (DNIT, 1994b), fornecendo os coeficientes  $c'$  (correlacionado aproximadamente à granulometria) e  $d'$  (inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação correspondente a 12 golpes); e a perda de massa por imersão (M8), que fornece  $P_i$ . Os valores de  $P_i$  e  $d'$  são utilizados para obtenção do Índice de laterização  $e'$ , que indica existência, ou não, de comportamento laterítico, que ocorre quando  $d' > 20$  e  $P_i < 100$ . O gráfico da Classificação MCT é traçado com os valores de  $c'$  e  $e'$ , como pode ser visualizado na Fig. 3. Na mesma figura, salienta-se regiões satisfatória e recomendada para uso em pavimentos econômicos proposto pelos pesquisadores Villibor e Nogami (2009).

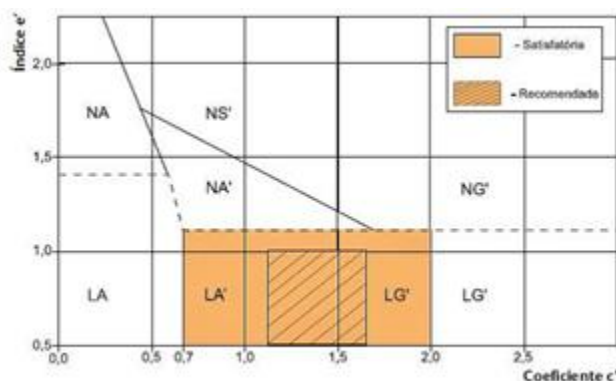


Figura 3. Gráfico da classificação MCT

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia tem como base os estudos bibliográficos para embasamento teórico sobre o tema do trabalho e ensaios laboratoriais realizados no Laboratório de Engenharia Civil – LEC da UNIJUÍ. As misturas analisadas se baseiam na metodologia proposta por Villibor e Nogami (2009), sendo compostas por solo

argiloso laterítico da região com substituição de 20, 30 e 40% de areia de descarte de fundição em peso, sendo nomeadas respectivamente, ALAF20, ALAF30 e ALAF40.

Logo após esta definição, as misturas foram caracterizadas geotecnicamente e classificadas pelos métodos tradicionalmente utilizados do Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e da rodoviária da HRB/AASHTO. Complementarmente foi feita a classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical) através dos ensaios de compactação mini-MCV (M5) descrito pela DNER-CLA 258 (DNIT, 1994c) e perda de massa por imersão (M8) regulamentado pela norma DNER-ME 256 (DNIT, 1994b). Para avaliar o desempenho de cada amostra e verificar qual apresentou melhores resultados, utilizaram-se os ensaios da metodologia MCT, como compactação mini-Proctor (M1), mini-CBR e expansão (M2), contração (M3) e infiltrabilidade e permeabilidade (M4), de acordo com o proposto em Villibor e Nogami (2009). Por fim, executaram-se ensaios triaxiais de cargas repetidas para determinação do módulo de resiliência da mistura com melhor desempenho.

O solo utilizado para a realização das misturas é argiloso laterítico característico da região noroeste do Rio Grande do Sul, coletado no Campus da UNIJUÍ, na cidade de Ijuí - RS. Foi extraído de um corte de talude próximo do Hospital Veterinário, a uma profundidade de aproximadamente 2 metros, pertencente ao horizonte B, classificado como latossolo vermelho. No mapa pedológico do Brasil, no local predominam os latossolos vermelhos distroférico típico (STRECK et al. 1999).

O resíduo utilizado nas misturas ALA da pesquisa foi a areia de descarte de fundição, sendo fornecida por empresa regional e estocada no LEC. Na Fig. 4 são apresentados os materiais utilizados para os ensaios.



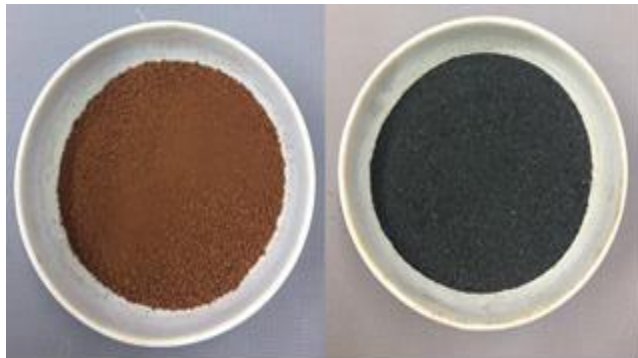


Figura 4. Materiais utilizados nas misturas

areia de fundição ao solo confere às misturas um padrão de comportamento esperado, que faz com que as características das misturas se aproximem das características da areia de fundição com o aumento dos teores incorporados ao solo. Na Tabela 1 mostram-se os resultados obtidos quanto aos limites de consistência, limites de liquidez (LL) e limites de plasticidade (LP).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As misturas analisadas foram submetidas à caracterização geotécnica, onde na Fig. 5 podem-se observar as curvas granulométricas do solo natural, das misturas e da areia de fundição.

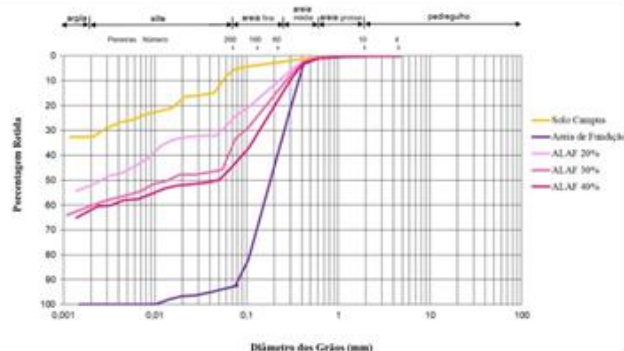


Figura 5. Curva granulométrica das misturas

Pela análise das curvas, o solo apresenta grande porcentagem de silte e argila na sua composição. Já a areia de fundição tem graduação uniforme concentrando a maior parte da curva na região de grãos característicos de areia fina. Nas misturas percebe-se um aumento gradual da parcela de areia fina conforme são incorporados os teores de areia de fundição.

Analisando as curvas granulométricas identifica-se a queda das curvas dos diferentes materiais na direção das curvas solo-ADF conforme são aumentados os teores de resíduo nas misturas. Evidencia-se que a aplicação da

Tabela 1. Limites de consistência

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo <i>in natura</i>	65	39	26
ALAF 20%	43	28	15
ALAF 30%	39	24	15
ALAF 40%	35	21	14

Dos resultados dos limites de consistência percebe-se que quanto maior a porcentagem incorporada de areia de fundição com o solo menor é o resultado do limite de liquidez e limite de plasticidade, obtendo assim índices de plasticidade ( $IP=LL-LP$ ) semelhantes para as amostras das misturas. A partir disto foram calculados também os índices de grupo (IG) das misturas, nas quais apresentaram a queda do valor com o aumento dos teores do resíduo utilizado, apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Índices de grupo

Amostra	IG
Solo <i>in natura</i>	20
ALAF 20%	11
ALAF 30%	9
ALAF 40%	6

Quanto as classificações das misturas foram utilizadas as tradicionais SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) e a rodoviária da HRB/AASHTO (Highway Research Board/ American Association of State Highway Transportation Officials) que se baseiam nas curvas granulométricas e propriedades índice. Adicionalmente, também

foram classificadas pela MCT (miniatura compactada tropical) advindos do procedimento M9 utilizando-se dos resultados obtidos a partir dos ensaios M5 e M8. Assim as misturas com adição do resíduo se classificaram pela SUCS no grupo CL, pela HRB-AASHTO as porcentagens de 30% e 40% se enquadram no grupo A-6, enquanto a porcentagem de 20% ficou no grupo A-7-5. Todas as misturas se classificaram em grupos de materiais silto-argilosos. Referente à classificação MCT, as amostras ensaiadas apresentaram classificação do solo de comportamento laterítico argiloso (LG'), mas apresenta diferenças entre os materiais, estabelecidas através do índice  $e'$  e coeficiente  $c'$ , apresentados na Fig. 6.



Figura 6. Classificação MCT das misturas

Esses dados evidenciam uma redução de latericidade do material da ALAF40% para ALAF30% e uma anormalidade na ALAF20% nesta questão, traduzido pela variação de  $e'$ . Também o aumento dos tamanhos dos grãos com maiores porcentagens de ADF, pela relação inversamente proporcional de  $c'$  com variação do resíduo.

Os resultados de todos os ensaios realizados dentro da classificação MCT são demonstrados na Tabela 3, a qual apresenta também os limites admissíveis propostos por Villibor e Nogami (2009) em sua metodologia para aceitação da utilização em bases e sub-bases de pavimentos econômicos.

Tabela 3. Resultados e critérios de aceitação

Propriedades	Intervalos Admissíveis	ALAF 20%	ALAF 30%	ALAF 40%
Grupos MCT	LG', LA', LA	LG'	LG'	LG'
Capacidade de Suporte Mini-CBR Ho* [%]	$\geq 40$	27,61	38,07	51,51
Expansão sem Sobrecarga -Es [%]	$\leq 0,3$	0,22	0,24	0,13
Relação RIS [%] ou Perda de Suporte por Imersão PSI [%]	$\geq 50$	82,42	58,80	60,85
	$\leq 50$	17,58	41,20	39,15
Contração Axial - Ct [%]	0,1 a 0,5	1,83	1,30	1,05
Coefficiente de Sorção d'água - s [cm <sup>3</sup> /min]	10-2 a 10-4	3,00E-03	3,14E-03	1,88E-03
Coefficiente de Permeabilidade (opcional)	10-6 a 10-8	-2,21E-05	-1,71E-04	-1,12E-05

\*Valores na Ho da Energia Intermediária do Mini-Proctor

Destes os resultados obtidos concluíram-se que as misturas ALAF20% e ALAF30% não se enquadram na maioria dos limites admissíveis para uso em bases e sub-bases. No entanto a mistura ALAF40% apresentou melhores resultados, se enquadrando em todos os quesitos analisados, exceto na contração axial. Neste ensaio de contração axial perceberam-se valores elevados para todas as amostras e presume-se a inconfiabilidade dos valores pelo fato de ser um procedimento experimental recente para o laboratório em que foi realizado (LEC), não contando também com controle de temperatura ou de umidade adequados. Após a repetição deste ensaio seria possível afirmar se a mistura ALAF40% poderia de fato ser utilizada em bases e sub-bases de pavimentos econômicos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível concluir que as classificações tradicionalmente usadas não representam de maneira real a capacidade dos solos tropicais, por se limitar ao uso das propriedades índice referentes à granulometria e limites de consistência. Contudo a classificação MCT é realmente eficiente, pressupondo de forma racional suas características de utilização em pavimentos, tanto para solos in natura quanto para esses solos com misturas do tipo ALA. Assim é perceptível o melhoramento das propriedades da mistura conforme o aumento

de teor de ADF ao solo, fato este comprovado quando a amostra com melhor desempenho contém 40% do material miúdo e 60% do solo laterítico argiloso regional em sua composição, sendo a de maior teor analisada.

Desse modo, o trabalho cumpriu seu objetivo geral de analisar a possibilidade de utilização do resíduo ADF proveniente do processo de fundição do ferro, em misturas do tipo ALA estabelecidas por Villibor e Nogami (2009) com o solo laterítico argiloso regional para estruturas de pavimentos econômicos em camadas de bases e sub-bases. A amostra ALAF40% foi a mistura com melhor desempenho, em que pese que somente o resultado obtido para contração axial não ter atendido aos requisitos da metodologia MCT que referenda a utilização de solos em camadas de bases de pavimentos, salientando o ainda desconhecimento de informações referentes ao ensaio de contração utilizado, que podem ter influenciado, devendo estes ensaios serem repetidos.

#### *Agradecimentos*

Ao MEC-SESu pela participação no Programa de Educação Tutorial, ao laboratorista Luiz Donato, e ao Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ (LEC).

#### **4. REFERÊNCIAS**

- BALBO, Jose Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558p.
- BERNUCCI, Leidi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2008. 501 p.
- DELLA FLORA, Cristiano Schmidt. **Estudo comparativo entre solos arenosos finos lateríticos do Rio Grande do Sul para emprego em pavimentos econômicos**. 2015. 75f. Dissertação de Graduação – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. 3 ed., Rio de Janeiro: 2006. 274 p.
- \_\_\_\_\_. **DNER-ME 228/94: Solos – compactação em equipamento miniatura**. Mato Grosso: DNER/DrDTc, 1994a, 14 p.
- \_\_\_\_\_. **DNER-ME 256/94: Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão**. Mato Grosso: DNER/DrDTc, 1994b, 6 p.
- \_\_\_\_\_. **DNER-ME 254/97: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-CBR e expansão**. Mato Grosso: DNER/DrDTc, 1997, 14 p.
- \_\_\_\_\_. **DNER-CLA 258/94: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV**. Mato Grosso: DNER/DrDTc, 1994c, 14 p.
- PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 3 ed. 363p. 2006. ISBN 978-85-86238-51-2
- SISTEMA NACIONAL DE VIAÇÃO. **SNV 2015 completo**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>> Acesso em: 30 junho 2018.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; KLAMT, E.  
**Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul.** Informativo da EMATER/RS, Porto Alegre, v.16, n.9, p.1-5, julho,1999.

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos.** São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 291 p.

VILLIBOR, Douglas Fadul et al. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas.** 2 ed., São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 196 p.

ZAPPE, Anna Paula Sandri. **Uso de areia de fundição em misturas com argila laterítica para estrutura de pavimentos econômicos.** 2017. 96p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2017.