



Determinação da Emissão de CO₂ em uma Obra Geotécnica

Fabio Conterato

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, fconterato94@gmail.com

Felipe Gobbi Silveira

FGS Engenharia Geotécnica e Ambiental Ltda, Porto Alegre, Brasil, felipe@fgs.eng.br

RESUMO: A viabilidade de execução de uma obra geotécnica pode ser entendida como a relação entre o seu custo, as pessoas afetadas e o seu impacto sobre o meio ambiente. O conceito de impacto sobre o meio ambiente é bastante amplo e está sendo introduzido rapidamente dentro da engenharia. Uma das maneiras de medir o quanto o meio ambiente pode ser afetado por uma obra é determinando a quantidade Dióxido de Carbono (CO₂) emitido por ela. Estudos recentes indicam que para a execução de uma casa de material com tamanho popular são emitidos aproximadamente 10 toneladas de CO₂, porém, em obras geotécnicas os estudos e dados disponíveis ainda são bastante escassos. O presente estudo tem como objetivo determinar a quantidade de CO₂ emitido por uma obra de contenção de um talude rodoviário localizado no município de São Francisco de Paula/RS. O solução consiste em uma chave granular profunda, reaterro com rachão e uma berma de equilíbrio em solo. Os resultados mostraram que a obra emitiu aproximadamente 180 toneladas de CO₂, sendo a produção e o transporte do rachão os maiores contribuintes.

PALAVRAS-CHAVE: Emissão de CO₂, Obras Geotécnicas, Fatores de Emissão.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com os impactos da atividade humana sobre o meio ambiente ganhou muita relevância nas últimas décadas, atrelado a ele vem a definição de sustentabilidade, que é satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as próprias necessidades, segundo a própria Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Do ponto de vista da Engenharia Civil, é sempre esperado que qualquer projeto ou solução seja sempre tecnicamente e economicamente viável e com o menor impacto possível sobre o meio ambiente adjacente. Entretanto, o entendimento de impacto sobre o meio ambiente ainda é bastante complexo e pode ser feito de maneiras diferentes. Neste contexto, surgiu a Análise de Ciclo de Vida Energético (ACVE), que considera todas as entradas de energia em uma edificação ou obra civil ao longo

de seu ciclo de vida, incluindo as etapas de pré-uso, uso e pós-uso, conforme Cunha (2016).

A ACVE é uma forma simplificada de analisar o gasto energético ou a energia embutida em um material para sua fabricação, uso e transporte. A análise do gasto energético permite avaliar e quantificar a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa (GEE), entre eles o dióxido de carbono (CO₂), que é o principal agente no aumento da temperatura média do planeta Terra. Dessa forma, a determinação da quantidade de GEE que são emitidos para a execução de uma obra é uma forma de avaliar o seu impacto sobre o meio ambiente.

Este trabalho teve o objetivo de quantificar a emissão de CO₂ em uma obra de estabilização de um talude rodoviário. O estudo mostrou que aproximadamente 180 toneladas de CO₂ seriam emitidas ao meio ambiente.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) é o principal organismo científico internacional de avaliação das mudanças climáticas, tendo sido estabelecido e apoiado pela Organização das Nações Unidas para o Ambiente e pela Organização Meteorológica Mundial (organismos das Nações Unidas). É constituído por mais de 250 cientistas de vários países e tem o objetivo de fornecer uma visão científica sobre o estado atual da mudança do clima e das suas potenciais consequências ambientais e socioeconômicas, segundo IPCC (2007, *apud* Costa, 2012).

O IPCC fornece por meio de diretrizes, orientações para que os países possam fazer o inventário de GEE. Essas diretrizes são baseadas em estudos e fornecem base para que a emissão de gases como o CO₂ possa ser quantificado.

Entre os GEE, o maior contribuinte em quantidades absolutas é o CO₂. Mesmo não sendo o gás com maior capacidade de impacto sobre o meio ambiente, a sua quantidade de emissão em relação aos outros gases é muito superior, segundo IPCC (2007).

Como forma de determinar o impacto de uma obra sobre o meio ambiente, pode-se estimar somente a quantidade de CO₂ emitido, desprezando-se a contribuição de outros gases. Dessa maneira, a análise da emissão de GEE pode ser feita em termos de emissão de toneladas CO₂.

Para a Engenharia Civil, a última diretriz divulgada pelo IPCC (2006) apresenta várias metodologias para a quantificação de GEE. Dentre as várias atividades, se destacam o setor de transporte, setor de metalurgia (aço, ferro), setor cimentício e setor de produção de agregados. Ainda, pode ser incluído nesta análise a movimentação de terra (escavação, reaterro) e remoção de matéria orgânica (desmatamento e limpeza de terreno).

A forma como é determinada a emissão de CO₂, segundo o IPCC (2006), pode ser entendida como uma maneira genérica, que é a multiplicação da quantidade de material usado,

consumido ou transportado por um fator de emissão (FE), conforme a equação 1.

$$\text{Emissões} = Q \times \text{FE} \quad (1)$$

Onde:

Emissões = toneladas de CO₂ emitidas

Q = quantidade de material, usado, transportado ou consumido

FE = fator de emissão em tCO₂/und de material

A peça chave na determinação da quantidade de CO₂ emitido é a estimativa do FE, visto que a quantidade de materiais usados em uma obra geralmente pode ser estimado de forma bastante razoável. Segundo SENAI (2017) os FE usados no inventário devem ser obtidos de uma origem reconhecida, de acordo com as fontes ou sumidouros selecionados. Deve-se considerar a incerteza dos fatores de emissão utilizados, e calculados de maneira que reproduzam resultados exatos e reprodutíveis sendo coerentes com o uso previsto no inventário.

Diversos estudos já foram feitos no Brasil com o objetivo de fazer estimativas e determinar FE de materiais relacionados com a Engenharia Civil.

Costa (2012), fez um amplo estudo para a determinação dos FE de diversos materiais e serviços usados na construção civil. O mesmo autor propôs uma metodologia que considera as perdas de materiais para o cálculo das emissões de CO₂. No mesmo trabalho, o autor quantifica as emissões de CO₂ para uma residência unifamiliar e encontra o valor de aproximadamente 8,5 toneladas, considerando perdas de material.

Cunha (2016) fez um estudo para es estimativa das emissões totais de CO₂ na construção de diversas unidades residenciais unifamiliares. Ao contrário do estudo realizado por Costa (2012), a análise foi realizada com a quantidade total de materiais utilizados, pois os dados foram obtidos durante o andamento das obras e analisados posteriormente. Os resultados mostraram que para a construção de uma unidade residencial do estudo foram emitidos



aproximadamente 3 toneladas de CO₂.

Em obras geotécnicas o estudo da emissão de GEE ainda é muito escassa no Brasil. Alguns estudos realizados em outros países podem ser usados como exemplo, entretanto, as características de produção, transporte, uso dos materiais e técnicas são muito diferentes, resultando em uma análise que pode ser distorcida quando comparada ao Brasil.

Teixeira (2014) realizou um estudo sobre a emissão de CO₂ durante a execução de uma cortina de estaca em Portugal. A cortina do estudo tinha comprimento de aproximadamente 700 metros, altura de 12 metros e diâmetro das estacas de 80 centímetros. A emissão total encontrado no estudo foi de aproximadamente 4600 toneladas de CO₂, representando aproximadamente 0,55 toneladas por metro quadrado de cortina. Os maiores contribuintes foram o concreto e o aço.

3 DESCRIÇÃO DA OBRA DE ESTABILIZAÇÃO

A obra de estabilização de talude utilizada neste estudo fica localizada na RS-020, em São Francisco de Paula/RS.

O talude rodoviário em questão é caracterizado por estar assente sobre um solo coluvionar que apresentava movimentações em períodos chuvosos prolongados. A Figura 1 mostra o talude em estudo.

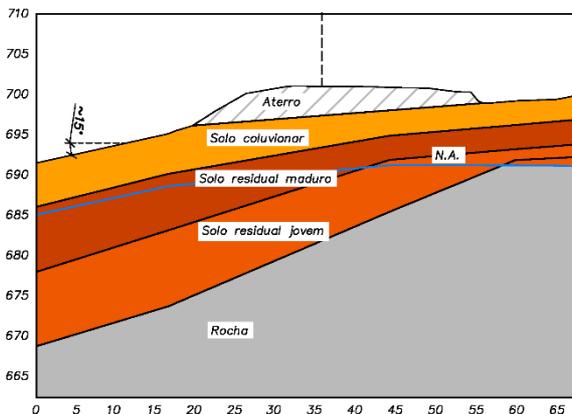


Figura 1: Perfil do talude em estudo antes da solução de estabilização

A solução consiste em uma chave granular profunda, apoiada diretamente na camada de solo competente, transpassando a camada de colúvio. O material retirado da escavação para a execução da chave granular será compactado na região de jusante da solução empregada. A extensão da solução será de aproximadamente 65 metros, mantendo o alinhamento do aterro da rodovia. A Figura 2 mostra a seção tipo da solução adotada.

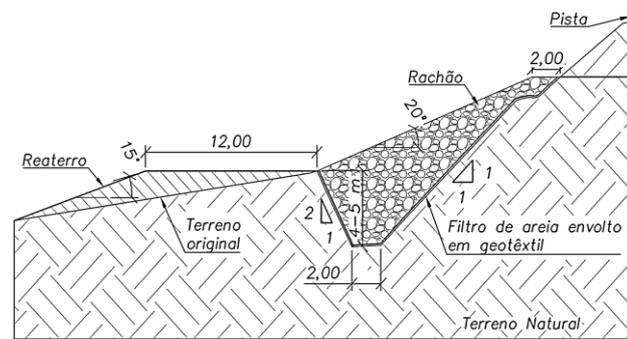


Figura 2: Seção tipo da solução adotada

Além da estabilização com chave granular, a solução contempla um sistema de drenagem composto por sarjetas, aproximadamente 105 metros, e reestruturação de um bueiro de diâmetro 100 centímetro que faz a transposição de água do lado de montante para o lado de jusante da pista, totalizando 20,5 metros de comprimento. Além disso, serão executadas duas alas de saída, uma ala de entrada e um dissipador de energia. A Figura 3 e a Figura 4 mostram detalhes do sistema de drenagem.

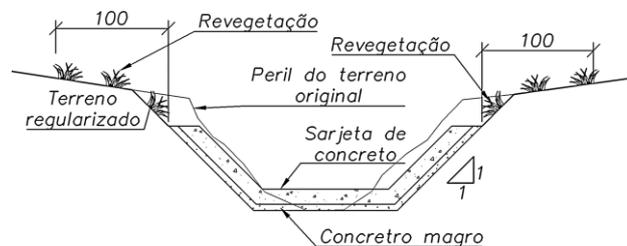


Figura 3: Detalhe das sarjetas de drenagem

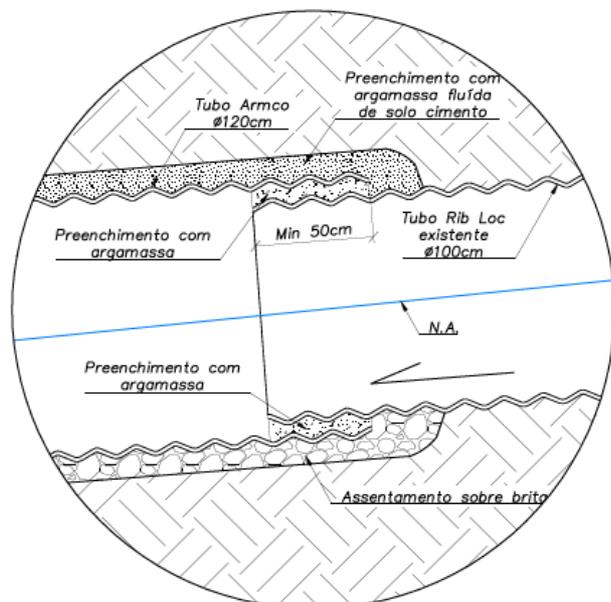


Figura 4: Detalhe da reestruturação do bueiro existente

Na Tabela 1 são mostradas as quantidades de materiais estimadas para executar a obra.

Tabela 1: Quantitativo geral para execução do projeto

Material	Quant.	Und.
Concreto fck=25MPa	41,5	m ³
Concreto magro	15,8	m ³
Argamassa	1,0	m ³
Arg. solo-cimento	7,7	m ³
Aço	1,5	ton
Formas	196,2	m ²
Areia	345,0	m ³
Brita 1	2,0	m ³
Rachão	4419,1	m ³
Tubo ARMCO	21,6	m
Tubo PVC D-150mm	107,3	m
Geotêxtil	3446,3	m ²
Escavação mec.	3470,0	m ³
Desmatamento	3300,0	m ²
Transporte	473940,0	t.km

O valor do transporte em t.km, na Tabela 1, é relativo ao transporte do rachão desde a jazida, localizada à 40 km de distância, até o local da obra. Esse cálculo considera o transporte com um caminhão de capacidade igual a 10 m³ e volta do veículo descarregado para o local da jazida.

3 FATORES DE EMISSÃO

O IPCC fornece diretrizes para o cálculo dos

FE em três níveis diferentes. O primeiro nível contempla uma análise mais simplificada e pode ser feita considerando os dados gerais de produção nacional ou regional de um determinado produto. O segundo nível é mais detalhado do que o primeiro e são consideradas variações, como o processo produtivo envolvido. O terceiro nível é mais completo e necessita de muitos dados, envolvendo uma análise detalhada de cada processo, quantidades e tipos de materiais e reações químicas entre os diferentes componentes.

Para estimativas de emissões em projetos geralmente não existem dados suficientes ou existem muitas incertezas envolvidas quanto à origem dos materiais utilizados, forma de produção e entre outras variáveis. Assim, as análises em segundo e terceiro nível são defíceis de serem feitas, entretanto, como a análise em primeiro nível é mais simples e não leva em conta tantas variáveis, ela se torna mais aplicável.

Neste trabalho são adotados FE analisados em primeiro nível. Os valores adotados foram obtidos em trabalho feitos anteriormente e que contemplam os materiais e método que serão utilizados no projeto em estudo.

A Tabela 2 mostra os fatores de emissão adotados para cada material ou serviço utilizado na projeto. Também é apresentada a referência utilizada para obter o dado.

Os valores de FE são mostrados em toneladas de CO₂/unidade de material ou serviço utilizado. As quantidades de materiais foram transformadas em unidades mais simples para se trabalhar, por exemplo, metros de tubo de PVC foram transformados em kilogramas de PVC. Essa transformação permite a aplicação direta dos fatores de emissão retirados da bibliografia, além de simplificar os cálculos.

Tabela 2: Fatores de emissão utilizados

Material	Quant.	FE	Ref
Concreto	41,5 m ³	0,359	1
Concreto magro	15,8 m ³	0,328	1
Argamassa	1,0 m ³	0,197	1
Arg. solo-cim.	7,7 m ³	0,063	1



Aço	1,5 t	1,830	1
Formas	19,6 m ³	0,596	1
Areia	345,0 m ³	0,072	1
Brita 1	2,0 m ³	0,072	1
Rachão	4419,1 m ³	0,017	2
Tube ARMCO	1,4 t	1,830	1
Tube PVC	0,3 t	1,770	3
Geotêxtil	0,5 t	0,170	4
Escavação mec.	3470,0 m ³	3,5E-4	1
Desmatamento	3300,0 m ²	0,004	5
Transporte do rachão	473940,0 t.km	6,3E-5	1

-
- 1 – Costa (2012)
 2 – Cunha (2016)
 3 – Brakem (2013)
 4 – Villwock *et al.* (2007)
 5 - Burguer e Delitti (2008)
-

O cálculo do FE para o desmatamento considerou a emissão de CO₂ para a atmosfera por meio da liberação do carbono pela decomposição da matéria orgânica. O cálculo da quantidade de matéria orgânica foi feita com base na metodologia proposta por Burguer e Delitti (2008), para vegetação pertencente à Mata Atlântica.

A argamassa fluída de solo-cimento consiste em uma mistura de água, solo e cimento, nas proporções solo/cimento = 90%. No respectivo cálculo do FE foi considerado apenas a contribuição do cimento utilizado.

A disponibilidade de dados sobre o processo produtivo para a fabricação de mantas geotêxteis de poliéster é escasso na literatura. Neste trabalho foi considerado o FE para a produção da resina poliéster obtido no trabalho desenvolvido por Villwock *et al.* (2007).

Os dados de emissão de CO₂ para a areia a brita foram baseados no trabalho desenvolvido por Costa (2012). A areia foi considerada um agregado miúdo, enquanto que a brita 1 foi considerada como agregado graúdo. Não foram encontrados dados a respeito do processo produtivo do rachão, entretanto, estima-se que seu FE deve ser menor do que a brita, devido à sua granulometria que exige menos gasto energético para produção. Portanto, o FE do rachão foi baseado no trabalho de Cunha (2016).

Para o transporte do rachão até a obra considerou-se o uso de caminhões semi-pesados

(17-26 ton), e consumo médio de 0,02 l/t/km, conforme dados utilizados por Costa (2012).

A estimativa do gasto de combustível para executar a escavação mecânica considerou o uso de uma escavadeira hidráulica com 148HP, rendimento médio de 200 m³/h e consumo de 22 l/h de diesel.

4. EMISSÕES DE CO₂

O cálculo das emissões totais de CO₂ foi feito com base no quantitativo de materiais (Tabela 1) e nos FE (Tabela 2).

O resultado da análise é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Emissões de CO₂ por materiais e serviços

Material	Quant.	FE	tCO ₂
Concreto	41,5 m ³	0,359	14,9
Concreto magro	15,8 m ³	0,328	5,2
Argamassa	1,0 m ³	0,197	0,2
Arg. solo-cim.	7,7 m ³	0,063	0,5
Aço	1,5 t	1,830	2,7
Formas	19,6 m ³	0,596	11,7
Areia	345,0 m ³	0,072	24,8
Brita 1	2,0 m ³	0,072	0,1
Rachão	4419,1 m ³	0,017	75,1
Tube ARMCO	1,4 t	1,830	2,6
Tube PVC	0,3 t	1,770	0,5
Geotêxtil	0,5 t	0,170	0,1
Escavação mec.	3470,0 m ³	3,5E-4	1,2
Desmatamento	3300,0 m ²	0,004	13,2
Transporte do rachão	473940,0 t.km	6,3E-5	29,9
Total			182,8

As emissões totais são de 182,8 toneladas de CO₂. Os maiores contribuintes são os agregados, compostos pela produção de areia, brita e rachão, representando cerca de 55% do total.

A maior contribuição individual corresponde à produção do rachão, cerca de 41% do total. O valor relativamente alto é explicado pela grande quantidade de material utilizada, visto que a solução consiste em uma chave granular.

Também destaca-se as emissões provenientes do transporte do rachão e da escavação para a execução da chave granular, correspondendo a 17% do total. Esses valores são explicados pela



quantidade e distância de transporte, juntamente com o volume escavado.

A Figura 5 mostra graficamente a distribuição das emissões por categoria de materiais.

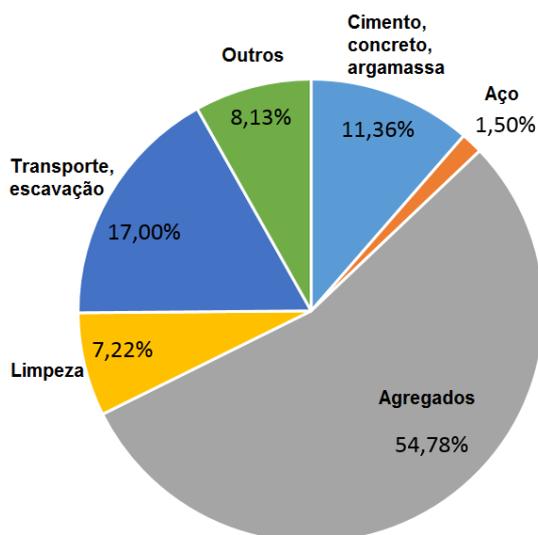


Figura 5: Emissões por categorias

As emissões também foram divididas pela sua utilização: limpeza do terreno, sistema de drenagem e estabilização do talude, conforme a Figura 6.

A maior parte (72%) é proveniente dos recursos usados na estabilização do talude, enquanto que 20,7% é oriundo da execução de todo o sistema de drenagem e 7,2% é referente à limpeza do terreno e remoção da vegetação.

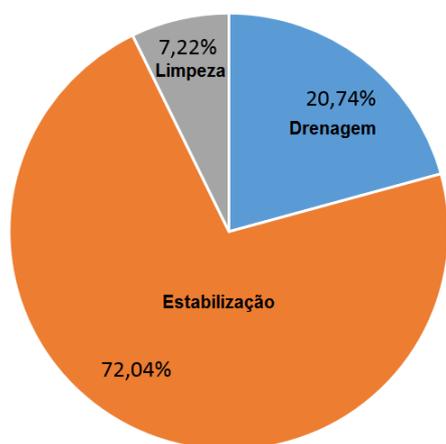


Figura 6: Emissões por diferentes usos

5. MITIGAÇÃO DOS EFEITOS SOBRE O

MEIO AMBIENTE

Como forma de compensar o efeito sobre o meio ambiente, podem-se executar ações que visam a retirada de CO₂ da atmosfera.

Segundo estudo realizado por Instituto Totum, ESALQ-USP e a Fundação SOS Mata Atlântica, cada árvore da Mata Atlântica retira cerca de 163 kg de CO₂ da atmosfera ao longo de seus primeiros 20 anos. Dessa forma, pode-se fazer o plantio de 1125 árvores do bioma da Mata Atlântica, que em seu ciclo de vida, irão compensar as emissões de CO₂.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou a estimativa de emissões de dióxido de carbono (CO₂) por uma obra de estabilização de talude.

O projeto é composto por uma chave granular profunda de rachão e reaterro compactado, associado a uma sistema de drenagem superficial e subsuperficial.

As emissões de CO₂ foram feitas com base no quantitativo de materiais e mostraram que 182,8 toneladas de CO₂ seriam emitidas na atmosfera devido à execução da obra.

A mitigação dos impactos pode ser feita pelo plantio de aproximadamente 1125 árvores nativas da Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

- BRASKEM, (2013) *Pegada de Carbono 2013 – Carbon Footprint*. 17 p.
- BURGUER, D. M., DELITTI, W. B. C., (2008). *Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil*. Revista Biota Neotropica, vol. 8, no. 4, p 131-136.
- Cunha, I. B., (2016). *Quantificação das emissões de CO2 na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais*, Dissertação para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 136p.
- COSTA, B. L. C., (2012) *Quantificação das emissões de CO2 geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil*, Dissertação de Mestrado, COPEE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 190p.



- FGS ENGENHARIA GEOTÉCNICA E AMBIENTAL LTDA., (2018) *Projeto básico de estabilização e contenção do km 82+000 da ERS 020 - entre São Francisco de Paula e o acesso à Três Coroas*. Porto Alegre, 78 p.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme. (2006) *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japão.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme. (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Reino Unido e Nova York, 996 p.
- SENAI – (2017) *Cartilha – Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa*. Rio de Janeiro, 66 p.
- TEIXEIRA, A. R. M., – (2014) *Calculadora de Carbono em Obras Geotécnicas*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Universidade do Porto, Portugal, 157 p.
- VILLWOCK, J. A., KETZER, J. M., MAIA, E. B., (2016). *Projeto de Desenvolvimento de metodologia para cálculo comparativo das emissões de gases do efeito estufa (GEE) entre os processos de construção de piscinas em fibra de vidro (P.R.F.V.) e piscinas de concreto*. Relatório, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 18 p.