



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

EDVALDO SILVESTRI

RICARDO SYPRIANO RIBEIRO

PEGADA HÍDRICA:

ESTUDO DE CASO SOBRE TELHAS CERÂMICAS

TUBARÃO

2017

**EDVALDO SILVESTRI
RICARDO SYPRIANO RIBEIRO**

**PEGADA HÍDRICA:
ESTUDO DE CASO SOBRE TELHAS CERÂMICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Madelon Rebelo Peters. MSc.

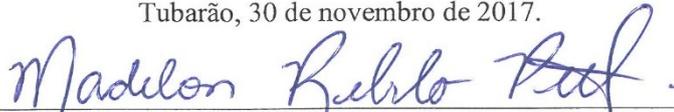
**Tubarão
2017**

EDVALDO SILVESTRI
RICARDO SYPRIANO RIBEIRO

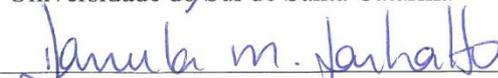
PEGADA HÍDRICA:
ESTUDO DE CASO SOBRE TELHAS CERÂMICAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

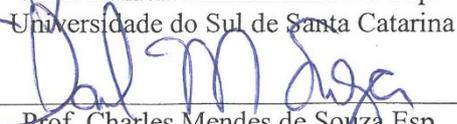
Tubarão, 30 de novembro de 2017.



Professora e orientadora Madelon Rebelo Peters. MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Daniela Milanez Zarbato. Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Charles Mendes de Souza Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Agradecemos acima de tudo a Deus pois sem ele nós não teríamos forças para essa longa jornada, agradecemos aos nossos professores e ao nosso colega que juntos nos empenhamos na conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao nosso amado e querido Deus, pela vida, pelo sustento, pelo seu incomparável e imensurável amor, que fez questão de provar dia após dia em nossa vida. Quando nós não acreditávamos mais em nós mesmos, Ele continuou acreditando. Agradecemos pelo que Ele já fez, está fazendo e ainda fará em nós e através de nós, sem Ele não seríamos ou faríamos nada. Obrigada, meu Deus.

Reconhecemos que, no decorrer da realização desta pesquisa, embora apresentada em dupla como produção acadêmica, em todas as suas fases, a participação de nossos familiares foi essencial, o que de certo modo nos fez afirmar que a própria escrita, assim como as lembranças, também nos são possibilitadas pelos outros com os quais compartilhamos nossas vidas, assim, agradecemos pelo apoio e incentivo que nos proporcionaram. Já os agradecemos pessoalmente, mesmo assim, fica aqui registrado o nosso reconhecimento de coração.

Aos nossos primeiros mestres, nossos pais, com todo o amor e compreensão, estiveram conosco nos momentos difíceis e nos de realização. Amamos vocês, obrigado por tudo! Não encontramos palavras que consigam agradecê-los, simplesmente, ficamos completamente envolvidos por um enorme sentimento: gratidão.

A todos os professores do Curso de Engenharia Civil que participaram do nosso crescimento profissional e pessoal, em especial à nossa orientadora Madelon Rebelo Peters, que com sua experiência, inteligência e paciência, contribuiu para a elaboração deste trabalho.

Aos nossos colegas de trabalho que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a elaboração desse projeto.

Enfim, a todos que contribuíram, de forma direta ou indiretamente, com a nossa pesquisa, pois jamais conseguiríamos realizá-la sozinhos.

A todos o nosso muito obrigado!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.” (Charles Chaplin).

RESUMO

Em observação do panorama global onde a água, um bem tão valioso, tornando-se cada vez mais escassa, faz-se necessário aprimorar a gestão de recursos hídricos em todas as atividades humanas de forma a tornar seu uso mais sustentável. A água é um dos produtos mais importantes no setor da construção civil e a Pegada Hídrica, que mede a apropriação por parte da humanidade dos recursos de hídricos referentes a água doce deve ser considerada de forma relevante. Neste sentido, este estudo visa abordar sobre a Pegada Hídrica na fabricação de telhas cerâmicas, em especial a telha cerâmica portuguesa, demonstrando seus processos de produção e exemplificando aqueles em que há o consumo de água. Foi possível demonstrar através dos cálculos que a Pegada Hídrica para a produção de uma tonelada de telhas especificadas foi de 0,381 m³/tonelada e que a Pegada Hídrica de uma telha cerâmica foi de 0,91litros/telha, sendo que a maior contribuição para alcançar esses valores foi gerada pelo componente Azul da Pegada Hídrica.

Palavras-chave: Pegada hídrica, telha cerâmica.

ABSTRACT

In observing the global panorama where water, a valuable asset, becoming increasingly scarce, it is necessary to improve the management of water resources in all human activities in order to make their use more sustainable. Water is one of the most important products in the construction sector and the Water Footprint, which measures the appropriation by mankind of water resources related to freshwater, should be considered in a relevant way. In this sense, this study aims to approach on the Water Footprint in the manufacture of ceramic tiles, especially the Portuguese ceramic tile, demonstrating its production processes and exemplifying those in which there is water consumption. It was possible to demonstrate from the calculations that the Water Footprint for the production of a specified ton of tiles was $0.381 \text{ m}^3 / \text{ton}$ and that the Water Footprint of a ceramic tile was $0.91 \text{ liters / tile}$, and the greatest contribution to achieving these values was generated by the Blue component of the Water Footprint.

Key words: Water footprint, ceramic tile.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema ilustrativo das componentes da Pegada Hídrica	17
Figura 2 Pegada Hídrica de diferentes países (milímetros por ano), medida de 1995 a 2005 .	18
Figura 3 Relação de produtos e suas respectivas pegadas hídricas, referentes a sua produção	25
Figura 4 Setores cerâmicos por matéria prima	30
Figura 5 Produtos de cerâmica vermelha	31
Figura 6 Etapas básicas nos processos de produção	32
Figura 7 Fluxograma do processo produtivo de telhas cerâmicas.....	33
Figura 8 Barreiros de argila	34
Figura 9 Máquina de moldagem.....	35
Figura 10 Secagem das telhas no processo natural.....	37
Figura 11 Forno túnel	38
Figura 12 Etapas do processo produtivo de tijolos, blocos e telhas cerâmicas e seus aspectos e impactos ambientais considerados	40
Figura 13 Cidade de Sangão e principais cidades do sul do estado de Santa Catarina	43
Figura 14 Telha portuguesa em estudo.....	46

LISTA DE EQUAÇÕES

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Dados fornecidos da empresa	45
Tabela 2 Características da telha portuguesa.....	45
Tabela 3 Valores da carga poluente (L), valores limite de emissão (VLE).....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA	15
2.2 ÁGUA INCORPARADO AO PRODUTO	16
2.3 PEGADA HÍDRICA.....	16
2.3.1 Tipos de Pegada Hídrica.....	18
2.3.1.1 Pegada Hídrica Direta e Indireta	18
2.3.1.2 Pegada Hídrica Interna e Externa	19
2.3.1.3 Pegada Hídrica Azul.....	19
2.3.1.4 Pegada Hídrica Verde.....	21
2.3.1.5 Pegada Hídrica Cinza	22
2.3.2 Pegada Hídrica de um Produto.....	23
2.3.3 Cálculo da pegada hídrica de um produto.....	24
2.3.4 Estimativa da Pegada Hídrica.....	26
2.3.5 Limitações da Pegada Hídrica	26
2.4 TELHAS CERÂMICAS	27
2.4.1 Histórico.....	28
2.4.1.1 Telha Cerâmica no Brasil	28
2.4.2 Produtos cerâmicos	29
2.4.2.1 Cerâmica vermelha.....	30
2.4.2.2 Telhas.....	31
2.4.3 Processo de Fabricação.....	32
2.4.3.1 Descrição do processo de fabricação.....	33
2.4.3.2 Aspectos ambientais da indústria cerâmica	39
2.4.3.3 Consumo e impactos considerados.....	40
3 METODOLOGIA.....	43
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	43

3.2	PEGADA HÍDRICA DO PRODUTO	44
3.3	ETAPAS DO CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA	47
3.3.1	Cálculo da pegada hídrica azul	47
3.3.2	Cálculo da pegada hídrica verde.....	48
3.3.3	Cálculo da pegada hídrica cinzenta	48
3.3.4	Pegada hídrica do processo de produção de telhas cerâmicas	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1	PEGADA AZUL.....	50
4.2	PEGADA VERDE	51
4.3	PEGADA CINZA	51
4.4	RESULTADO DA PEGADA HÍDRICA NA PRODUÇÃO DE TELHAS CERÂMICAS	52
4.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	53
5	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS	55
	ANEXO 1 – VALORES LIMITE DE EMISSÃO (VLE) NA DESCARGA DE ÁGUAS RESIDUAIS	59

1 INTRODUÇÃO

A água é fonte da vida, é um elemento fundamental para a sobrevivência dos seres vivos. Não importa quem são, o que fazem ou onde vivem, os seres humanos dependem dela para viver. As pessoas estão tão acostumadas à presença da água que só se dão conta do seu valor, de sua magnitude, quando ela lhes faz falta.

O aumento do consumo dos diversos recursos e materiais disponíveis na natureza está diretamente relacionado com o aumento da população e com o desenvolvimento da qualidade de vida. Enquanto nos últimos 100 anos a população mundial viu o seu número triplicar, o consumo de água para as atividades humanas, em igual período, cresceu cerca de seis vezes (Pedroso, 2009). A explosão demográfica dos últimos 150 anos deixa antever que a água seja um dos grandes problemas do século XXI. Até metade do século XX, as necessidades de água cresceram gradualmente, acompanhando o lento aumento populacional. No entanto, na segunda metade desse século, o desenvolvimento da sociedade e a elevação do nível de vida determinados pelo avanço tecnológico e industrial, a que se associaram a expansão urbanística, a agricultura e a produção de energia elétrica, geraram uma maior necessidade de procura de água (WWC, 2003).

Há pouca consciência de que a organização e as características de uma cadeia de produção e abastecimento influenciam fortemente os volumes e a distribuição temporal e espacial da água, sendo que a água consumida e poluída pode ser associada ao consumo final do produto (Seixas, 2011). Hoekstra & Chapagain (2008), demonstraram que através da quantificação da água incorporada nos produtos, se pode calcular os efeitos do consumo e do comércio desses produtos no uso dos recursos hídricos. Esta compreensão poderá servir de base a uma melhor e mais adequada gestão da água doce existente no planeta. Descobrimos a ligação escondida entre o consumo e o uso de água podemos formar a base para a formulação de novas estratégias de gestão da água, pois os novos caminhos para a mudança podem ser identificados.

A ideia de considerar o uso da água ao longo das cadeias produtivas ganhou interesse após a introdução do conceito de ‘pegada hídrica’ por Hoekstra, em 2002 (Hoekstra, 2003). A pegada hídrica é um indicador do uso da água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto. A pegada hídrica pode ser considerada como um indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos, vis a vis ao conceito tradicional e restrito de captação de água.

A pegada hídrica de um produto é o volume de água utilizado para produzi-lo, medida ao longo de toda cadeia produtiva. É um indicador multidimensional, que mostra os

volumes de consumo de água por fonte e os volumes de poluição pelo tipo de poluição; todas as componentes de uma pegada hídrica total são especificadas geográfica e temporalmente.

Como o conceito de Pegada Hídrica é uma matéria relativamente emergente pretende-se com este trabalho dar uma contribuição para a prática mais abrangente do cálculo da Pegada Hídrica e como tal para além da descrição dos conceitos teóricos pretende fazer-se uma aplicação para se ter a sensibilidade para a utilização desta metodologia. Essa aplicação será feita à produção de telhas cerâmicas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, há uma grande preocupação da sociedade com relação à conservação dos recursos naturais, dentre eles, a água é um dos mais preciosos recursos, uma vez que é imprescindível para a vida no planeta.

Sendo fundamental para a vida, é necessária a criação de meios capazes de atenuar seu gasto descontrolado, evitando ou minimizando sua poluição. Devido à má distribuição dos recursos hídricos no planeta e ao aumento crescente da demanda, observa-se que este recurso é cada vez mais escasso (REBÊLO, 2011).

Segundo Carvalho (2014), está cada vez mais difícil obter água de qualidade e em quantidade suficiente para abastecer as necessidades da sociedade moderna, visto que grande parte da água doce disponível no planeta está em locais de baixa densidade demográfica ou apresenta alto custo de extração.

De acordo com Rebêlo (2011), evitar o desperdício e racionalizar a água está deixando de ser somente uma preocupação ambientalista, mas também passa a ser uma preocupação econômica. Diante disso, empresas, organizações não governamentais e especialistas no assunto estão investindo em pesquisas para descobrir formas de reaproveitar a água, economizando este recurso.

Diante disso, a pesquisa justifica-se devido à importância da água no dia a dia das pessoas e à necessidade de poupá-la, evitando o desperdício em usos irracionais e até desnecessários. E vai além quando divulga na sociedade que com poucas atitudes a população poderá buscar inovações e alternativas de fonte hídrica, se não destinada ao consumo, ao menos para tarefas de limpeza, manutenção e irrigação, possibilitando ganhos econômicos para as empresas, sociedade e, principalmente, para o meio ambiente (MACHADO, 2009).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral verificar o consumo de água no processo de fabricação de telhas cerâmicas de acordo com os conceitos relacionados à Pegada Hídrica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica sobre a importância da água e pegada hídrica;
- Pesquisar sobre Pegada Hídrica no processo de fabricação de produtos;
- Verificar o consumo de água no processo de fabricação de telha cerâmica a fim de relacionar este com a pegada hídrica.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, contendo toda a descrição do projeto, as etapas envolvidas para a elaboração do mesmo e uma visão obtida com a conclusão deste.

O primeiro capítulo contém uma introdução do tema pegada hídrica, contendo os objetivos e justificativa, abordando todos os temas com os quais o trabalho se relaciona.

O segundo capítulo abrange a revisão bibliográfica, abordando os temas relacionados ao estudo em questão.

O terceiro capítulo relata a metodologia escolhida para a realização do trabalho, apresentando o local de desenvolvimento do projeto, o fim para qual este se destina, as pesquisas realizadas para tal e os métodos escolhidos para o dimensionamento.

Já o quarto capítulo, engloba os resultados obtidos, sendo embasado por cálculos de pegada hídrica,

E, por fim, o quinto capítulo aborda a conclusão do projeto, descrevendo a importância do estudo deste, e as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será apresentada uma revisão bibliográfica abordando os conceitos, apresentando as metodologias usadas na quantificação do consumo, sendo definido mais explicitamente o conceito de Pegada Hídrica e a sua relação com outros termos e indicadores. Ainda, será realizada uma caracterização do setor da cerâmica, principalmente sobre a fabricação de telhas.

2.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA

A água é um recurso natural essencial a vida, constituinte de organismos animais e vegetais, fundamentais para o ser humano. O homem utiliza a água em seu cotidiano para o próprio consumo, higiene, lazer, irrigação, geração de energia, processos industriais, entre outros usos. (HAGEMANN, 2009) O acelerado crescimento populacional no mundo tem conduzido ao aumento da demanda de água, o que vem ocasionando, em várias regiões, problemas de escassez desse recurso. (ANEEL, 2001) Conforme o Ministério do Meio Ambiente a água é um recurso natural essencial para a sobrevivência de todas as espécies que habitam a Terra. No organismo humano a água atua, entre outras funções, como veículo para a troca de substâncias e para a manutenção da temperatura, representando cerca de 70% de sua massa corporal. É impossível imaginar como seria o nosso dia-a-dia sem ela. (BRASIL, 2005)

O termo sustentabilidade define as ações e atividades humanas com a finalidade de suprir as necessidades dos seres humanos, sem comprometer as gerações futuras. Está relacionado ao desenvolvimento econômico e material sem agredir o meio ambiente, utilizando os recursos naturais para elas se manterem futuramente (SUSTENTABILIDADE, 2016).

O conceito de sustentabilidade, conforme Rebêlo, (2011)

[...] procura adequar a necessidade de desenvolvimento econômico da sociedade com a promoção do desenvolvimento social e com o respeito ao meio-ambiente, que é, atualmente, um tema indispensável na pauta de discussão das mais diversas organizações governamentais (REBELO, 2011, p. 22).

Em relação às ações associadas à sustentabilidade, têm-se a extração dos recursos minerais como petróleo, carvão, minérios, de modo controlado e planejado; a exploração dos recursos vegetais de matas e florestas de maneira controlada, garantindo o replantio sempre que necessário; ações que visem ao incentivo à produção e consumo de alimentos orgânicos; uso de

fontes de energia renováveis como eólica, geotérmica e hidráulica; atitudes voltadas para o consumo controlado da água, evitando ao máximo o desperdício (LEITE, 2013).

Como benefícios, com ações de sustentabilidade, tem-se uma garantia, a médio e longo prazos, de um planeta em boas condições para o desenvolvimento das várias formas de vida, inclusive a humana; garantia de recursos naturais necessários para as próximas gerações, que possibilitem a manutenção dos recursos naturais como matas, florestas, lagos, rios, oceanos e, assim, garantir uma boa qualidade de vida para as futuras gerações (LEITE, 2013).

2.2 ÁGUA INCORPARADO AO PRODUTO

O consumo de água não se refere simplesmente em usar a torneira, vazamento de uma tubulação, mas está ligada também aos processos de fabricações de produtos. Todo produto ao ser fabricado consome água

Pensando nisso, o conceito de Pegada Hídrica foi criado pelo professor holandês Arjen Y. Hoekstra como uma espécie de Raio-X hídrico.

2.3 PEGADA HIDRICA

Nos dias atuais é muito comentado sobre a utilização da água, porém é pouco analisada a quantidade utilizada nos produtos e alimentos consumidos.

Arjen Y. Hoekstra (2002) querendo mostrar a quantidade de água utilizada pela população cria o conceito **Pegada Hídrica** que indica a quantidade de água utilizada tanto na forma direta (torneira ligada, banho) quanto na forma indireta (produção de roupas, produção de carne) buscando o uso eficiente da água.

O termo Pegada Hídrica, também designado por Pegada de Água (PA) ou Pegada Aquática, foi criado por Arjen Hoekstra, em 2002, como um novo indicador de consumo de água doce, que contabiliza o consumo direto de água de um produtor ou consumidor, bem como o seu consumo indireto.

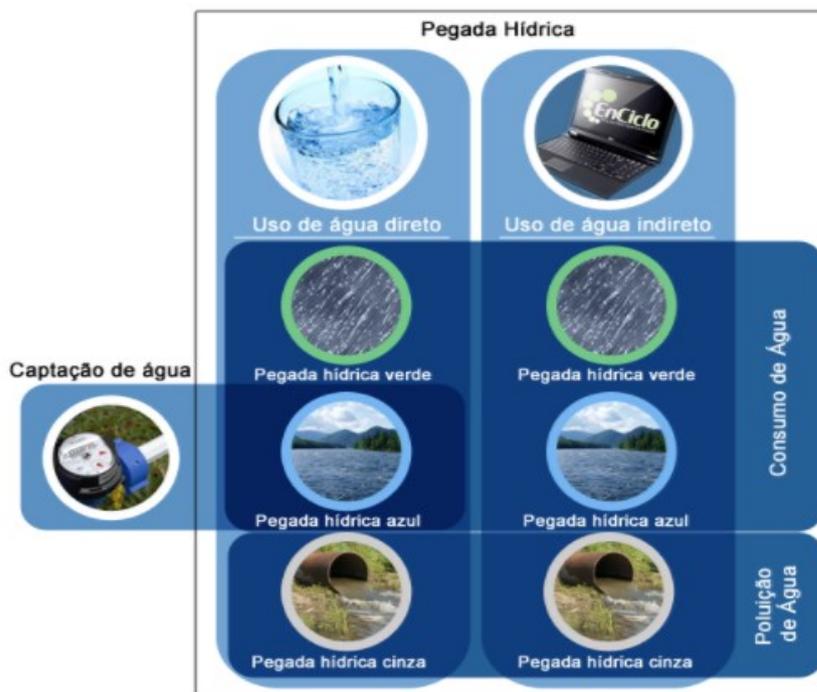
Segundo Hoekstra et al. (2011), a Pegada Hídrica é considerada como um indicador global de apropriação dos recursos de água doce. A Pegada Hídrica de um produto é o volume de água doce usado para produzir o produto, ao longo da cadeia de produção. Trata-se de um indicador multifuncional, que mostra os volumes consumidos de água doce por origem e os volumes poluídos por tipo de poluição. Todos os componentes da Pegada Hídrica são especificados geograficamente e temporalmente.

De acordo com o consumo no processo produtivo a pegada hídrica é caracterizada da seguinte forma:

- A Pegada Hídrica azul refere-se ao consumo de recursos de água azul (água subterrânea e superficial) ao longo da cadeia de produção do produto;
- A Pegada Hídrica verde refere-se ao consumo dos recursos de água verde, que se define como sendo a água da chuva armazenada no solo como humidade;
- A Pegada Hídrica cinzenta refere-se à poluição e é definida como o volume de água doce necessária para assimilar a carga de poluentes, com base nos padrões de qualidade de água existentes.

Como um indicador de consumo de água, a Pegada Hídrica difere do conceito tradicional “water withdrawal”, ou seja, “retirada de água”, em três aspectos (Figura 1).

Figura 1 – Esquema ilustrativo das componentes da Pegada Hídrica



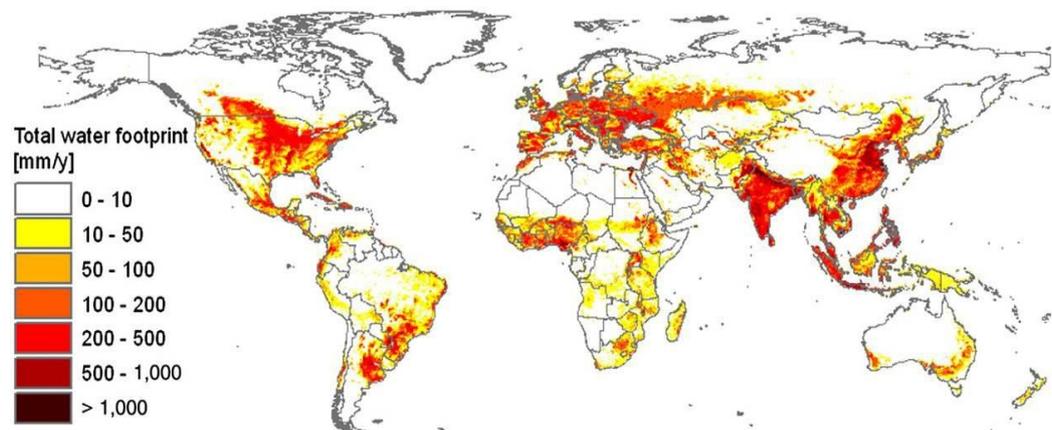
Fonte: Opersan, (2014).

A Pegada Hídrica oferece, assim, uma melhor e mais vasta perspectiva sobre consumo de sistemas de água doce por parte de consumidores e produtores, indo uma medida volumétrica do consumo de água e poluição. O impacto ambiental local de um determinado

consumo de água e de poluição, depende da vulnerabilidade do sistema de água local e do número de consumidores e poluidores que utilizam esse sistema.

A média global da Pegada Hídrica é de aproximadamente 1385 m³/ano per capita (www.waterfootprint.org), variando substancialmente este valor de país para país. Por exemplo, para Portugal a Pegada Hídrica é estimada em 2264 m³/habitante/ano (HOEKESTRA & CHANPAPAIN, 2008). Figura 2 ilustra a Pegada Hídrica per capita dos diferentes países, permitindo ter uma visão global da distribuição desta pegada no mundo.

Figura 2 Pegada Hídrica de diferentes países (milímetros por ano), medida de 1995 a 2005



Fonte: (Hoekstra & Chapagain, 2008).

Os países assinalados com a cor branca são distinguidos por terem uma média nacional de Pegada Hídrica inferior à média global.

Os países com a cor vermelha possuem uma Pegada Hídrica superior à média, como é o caso de Portugal. Os países como a Índia e a China, têm reduzidas Pegadas Hídricas, devido a sua elevada densidade populacional; os Estados Unidos são o país a nível mundial com a pegada mais elevada (HOEKESTRA & CHANPAPAIN, 2008).

2.3.1 Tipos de Pegada Hídrica

2.3.1.1 Pegada Hídrica Direta e Indireta

A Pegada Hídrica direta refere-se ao consumo de água e poluição relacionados com o uso doméstico, tendo como exemplos, a água usada em habitações e nos jardins.

A Pegada Hídrica indireta refere-se ao consumo e poluição associados à produção de bens e serviços usados pelo consumidor (HOEKESTR ET AL, 2011). Habitualmente, a Pegada Hídrica indireta é superior à Pegada Hídrica direta. Todavia, por ser “invisível”, é esquecida. Na maioria dos casos a Pegada Hídrica de um consumidor está mais associada aos produtos que se consome e não tanto à água que se usa em casa. No que diz respeito às empresas a maior parte tem a sua Pegada Hídrica na cadeia de produção (Pegada Hídrica indireta) e não na etapa de operacionalização (Pegada Hídrica direta), sendo que medidas aplicadas na cadeia de produção são por isso mais eficazes economicamente (HOEKESTR ET AL, 2011).

Num determinado estudo, dependendo dos seus objetivos, a Pegada Hídrica pode incidir na análise de uma das duas componentes (direta ou indireta), (WRI e WBCSD, 2004).

2.3.1.2 Pegada Hídrica Interna e Externa

A Pegada Hídrica interna refere-se ao uso dos recursos hídricos de um país para produzir os bens e serviços consumidos pelos seus habitantes. A Pegada Hídrica externa é a quantidade de recursos hídricos utilizados no exterior de um país e que são necessários para a produção de bens e serviços consumidos por esses habitantes, através da importação (HOEKESTR ET AL, 2011).

Numa análise breve da Pegada Hídrica externa, é exequível compreender as características do consumo nacional, analisando assim a dependência de um país face aos recursos hídricos externos (HOEKESTR ET AL, 2011).

2.3.1.3 Pegada Hídrica Azul

A pegada hídrica azul é um indicador do uso consuntivo da chamada água azul; em outras palavras, a água doce superficial ou subterrânea. O termo ‘uso consuntivo da água’ se refere a um dos quatro casos abaixo:

1. Quando a água evapora;
2. Quando a água é incorporada ao produto;
3. Quando a água não retorna à mesma bacia hidrográfica, mas sim escoar para outra bacia ou para o oceano;
4. Quando a água não retorna no mesmo período; por exemplo, quando é retirada em um período de seca e retorna em um período de chuvas.

Geralmente, o primeiro componente (a evaporação) é o mais significativo. Conseqüentemente, o uso consuntivo é geralmente equiparado à evaporação, mas os outros três componentes devem ser incluídos quando forem relevantes. Toda a evaporação relacionada à produção deve ser calculada incluindo a água que evapora no processo de armazenamento (por exemplo, de reservatórios artificiais), o transporte (por exemplo, de canais abertos), o processamento (por exemplo, a evaporação de água aquecida que não é recoletada) e a coleta e o lançamento (por exemplo, de canais de drenagem e de estações de tratamento de esgotos), (ALDAYA E LLAMAS, 2008).

‘O uso consuntivo da água’ não significa que a água desaparece, pois a água permanecerá dentro do ciclo e retornará sempre para algum lugar. A água é um recurso renovável, mas isso não significa que sua disponibilidade seja ilimitada. Em um determinado período, a quantidade de água que repõe as reservas subterrâneas e flui através de um rio é sempre limitada a certo volume. As águas dos rios e aquíferos podem ser usadas para irrigação, usos industriais ou domésticos. Mas durante um determinado período de tempo, não se pode consumir mais água do que o disponível (ALDAYA E LLAMAS, 2008).

A pegada hídrica azul mede a quantidade de água disponível que é consumida em um determinado período (em outras palavras, a que não retorna imediatamente para a mesma bacia). Dessa forma, ela fornece uma medida da quantidade de água azul consumida pelo homem. O restante, ou seja, os fluxos de água subterrânea e superficial não utilizados para as atividades humanas permitem a manutenção da vida nos ecossistemas que dependem destes fluxos (ALDAYA E LLAMAS, 2008). A pegada hídrica azul em uma etapa do processo é calculada da seguinte equação:

$$\text{PHproc,azul} = \text{Evaporação da água azul} + \text{Incorporação da água azul} + \text{Vazão de retorno perdida [volume/tempo]}$$

O último componente se refere à porção do fluxo de retorno que não está disponível para o reuso dentro da mesma bacia hidrográfica, no mesmo período de retirada, seja por ter retornado à outra bacia (ou por ter sido lançado no mar) ou por ter retornado em outro período (ALDAYA E LLAMAS, 2008).

Ao especificar a pegada hídrica azul total pela fonte, também é possível distinguir, explicitamente, o uso consuntivo das águas coletadas das chuvas. A coleta da água das chuvas é um caso particular uma vez que se pode questionar se a água coletada das chuvas é considerada água verde ou azul (FALKENMARK E ROCKSTROM, 2004).

Na maioria das vezes, a coleta da água das chuvas se refere à captação das águas que iriam para o escoamento. Já que o uso consuntivo da coleta da água das chuvas será subtraído do escoamento recomendamos classificar esse tipo de uso de água como uma pegada hídrica azul. Existem vários tipos de técnicas de coleta da água de chuva para o suprimento de água potável, de água para a pecuária ou para irrigação de culturas e jardins. Enquanto se fala da coleta local de escoamento superficial, como no caso da coleta da água de chuva dos telhados ou outras superfícies rígidas ou quando a água das chuvas é conduzida para pequenas lagoas – pode-se classificar o uso consuntivo dessa água como pegada hídrica azul. Porém, se considerarmos medidas adotadas para aumentar a capacidade de retenção de água do solo ou telhados verdes para retenção da água de chuva, o uso consuntivo dessa água pelas plantas será classificado como pegada hídrica verde (FALKENMARK E ROCKSTROM, 2004).

A unidade da pegada hídrica azul do processo é o volume de água por unidade de tempo, por exemplo, por dia, mês ou ano. Quando dividida pela quantidade do produto resultante do processo, a pegada hídrica do processo também pode ser expressa em termos de volume de água por unidade de produto (ALDAYA E LLAMAS, 2008).

2.3.1.4 Pegada Hídrica Verde

A pegada hídrica verde é um indicador do uso da água verde por parte do homem. A água verde refere-se à precipitação no continente que não escoou ou não repõe a água subterrânea, mas é armazenada no solo ou permanece temporariamente na superfície do solo ou na vegetação. Eventualmente, essa parte da precipitação evapora ou é transpirada pelas plantas. A água verde pode ser produtiva para o desenvolvimento das culturas (mas nem toda água verde pode ser absorvida pelas culturas, pois sempre haverá evaporação de água do solo e porque nem todas as áreas e nem todos os períodos do ano são adequados para o crescimento de culturas), (FALKENMARK E ROCKSTROM, 2004).

A pegada hídrica verde é o volume da água da chuva consumido durante o processo de produção. Isto é particularmente relevante para os produtos agrícolas e florestais (grãos, madeira etc.), correspondendo ao total de água da chuva que sofre evapotranspiração (dos campos e plantações) mais a água incorporada nos produtos agrícolas e florestais colhidos (FALKENMARK E ROCKSTROM, 2004). A equação para calcular a pegada hídrica verde em uma etapa do processo é a seguinte:

$PH_{proc, verde} = \text{Evaporação de água verde} + \text{Incorporação de água verde}$
[volume/tempo]

A distinção entre as pegadas hídricas azul e verde é importante, uma vez que os impactos hidrológico, ambiental e social, bem como os custos de oportunidade referentes ao uso de águas superficiais e subterrâneas para a produção diferem muito dos impactos e custos do uso da água da chuva (FALKENMARK E ROCKSTROM, 2004).; HOEKSTRA E CHAMPAIN, 2008).

2.3.1.5 Pegada Hídrica Cinza

A Pegada Hídrica cinzenta é um indicador do grau de poluição da água doce, como já foi referido, é definida como o volume de água doce que é necessário para assimilar a carga de poluentes com base nos atuais padrões de qualidade ambiental da água (FALKENMARK E LINDH, 1974).

A pegada hídrica cinza é calculada pela divisão da carga poluente (L, em massa/tempo) pela diferença entre a concentração do padrão ambiental de qualidade da água para um determinado poluente (a concentração máxima aceitável c_{max} , em massa/volume) e sua concentração natural no corpo d'água receptor (c_{nat} , em massa/volume), (BULSINK ET AL, 2010). A equação para calcular a pegada hídrica cinza é a seguinte:

$$PH_{proc, cinza} = L / (c_{max} - c_{nat}) \text{ [volume/tempo]}$$

A concentração natural de um poluente num corpo receptor é a concentração a massa de água que ocorreria caso não houvesse perturbações humanas da qualidade da água na zona da captação. Para as substâncias de origem antropogênica, que em condições naturais não se encontrariam presentes na água, e quando as concentrações naturais não são conhecidas com precisão, mas estima-se que sejam baixas, admite-se que a concentração natural na massa de água receptora é nula ($C_{nat}=0$), (BULSINK ET AL, 2010).

O motivo por que a concentração natural se utiliza como referência e não a concentração real deve-se ao facto de a Pegada Hídrica cinzenta ser um indicador de capacidade de assimilação apropriada. A capacidade de assimilação de um corpo receptor depende da diferença entre o máximo permitido e a concentração natural de uma substância (BULSINK ET AL, 2010).

Os cálculos da Pegada Hídrica cinzenta são realizados usando as normas de qualidade ambiental da água para a massa recetora, ou seja, por outras palavras, as normas que indicam as concentrações máximas admissíveis dos poluentes nas massas de água receptoras. Tal acontece porque a Pegada Hídrica cinzenta tem como objetivo determinar o volume de água necessário para assimilar produtos poluentes (VAN OEL ET AL, 2009).

É de salientar que para a mesma substância, o padrão de qualidade ambiental da água pode variar de acordo com a massa de água em questão tal como a concentração natural pode variar tendo em conta a localização. Então, uma carga poluente pode resultar numa determinada Pegada Hídrica cinzenta num certo local e, num outro local, uma outra Pegada Hídrica cinzenta, com maior ou menor impacte, determinada pela diferença entre a concentração máxima permitida e a concentração natural do local em causa (ERCIN ET AL, 2009).

2.3.2 Pegada Hídrica de um Produto

A Pegada Hídrica de um produto é definida como o volume total de água doce que é usada diretamente e indiretamente para produzir o produto. É estimada considerando o consumo de água e a quantidade de poluição em todas as etapas de produção (HOEKSTRA E CHAMPAIN, 2008).

O procedimento utilizado é similar a todos os tipos de produtos, quer sejam agrícolas ou industriais. A Pegada Hídrica de um produto decompõe-se nas componentes: água azul, verde e cinzenta (HOEKSTRA E CHAMPAIN, 2008).

No caso dos produtos agrícolas, a Pegada Hídrica é geralmente expressa em metros cúbicos por tonelada de produto (m^3/ton) ou litros por quilograma de produto (l/Kg). Muitos casos e para certos produtos, pode ser ainda expressa em volume de água por tipo de produto. No caso dos produtos industriais, a Pegada Hídrica é expressa em metros cúbicos por US\$ ($m^3/US\$$) ou volume de água por tipo de produto. Outras formas de expressar uma Pegada Hídrica de um produto são, por exemplo, volume de água por quilo-caloria (quando estão em causa produtos alimentares) ou volume de água por joule (energia elétrica ou combustíveis), (HOEKSTRA E CHAMPAIN, 2008).

Para estimar a pegada hídrica de um produto primeiramente é preciso entender a forma como ele é produzido. Por esta razão é preciso identificar o ‘sistema de produção’. Um sistema de produção consiste em ‘etapas de processos’ sequenciais. Um exemplo (simplificado) do sistema de produção de uma camisa de algodão é: cultivo do algodão, colheita,

descaroçamento, cardagem, tecelagem, branqueamento, tingimento, estamparia, acabamento. Considerando que muitos produtos necessitam de diversos insumos acontece de múltiplas etapas de processos precederem a etapa seguinte. Neste caso não teremos uma cadeia linear de etapas do processo, mas sim uma ‘árvore de produto’. Um exemplo (simplificado) de uma árvore de produto é o seguinte: a produção de ração e todos os outros tipos de insumos necessários em uma fazenda de pecuária intensiva, a criação de animais e finalmente a produção da carne. Como os sistemas de produção frequentemente produzem mais de um produto final – por exemplo, as vacas podem fornecer o leite, a carne e o couro – mesmo a metáfora da árvore de produto é insuficiente. Na realidade, os sistemas de produção consistem de redes complexas de processos interligados até mesmo processos circulares (HOEKSTRA E CHAMPAIN, 2008).

A esquematização de um sistema de produção em etapas distintas do processo envolve, inevitavelmente, suposições e simplificações. Teoricamente, como muitos sistemas de produção contêm componentes circulares seria possível continuar rastreando os insumos infinitamente através da rede de passos interligados do processo. Na prática será necessário interromper a análise nos pontos em que o trabalho adicional não agregará mais informações relevantes para o objetivo da análise (HOEKSTRA E CHAMPAIN, 2008).

2.3.3 Cálculo da pegada hídrica de um produto

Segundo Hoekstra e Chapagain (2008), a pegada hídrica de um produto é semelhante ao que é encontrado em outros artigos como ‘água virtual’ do produto, água embutida, incorporada, exógena ou oculta do produto. Esses termos referem-se ao volume de água incorporado no produto em si, enquanto o termo ‘pegada hídrica’ se refere não somente ao volume, mas também ao tipo de água que foi utilizada (verde, azul, cinza).

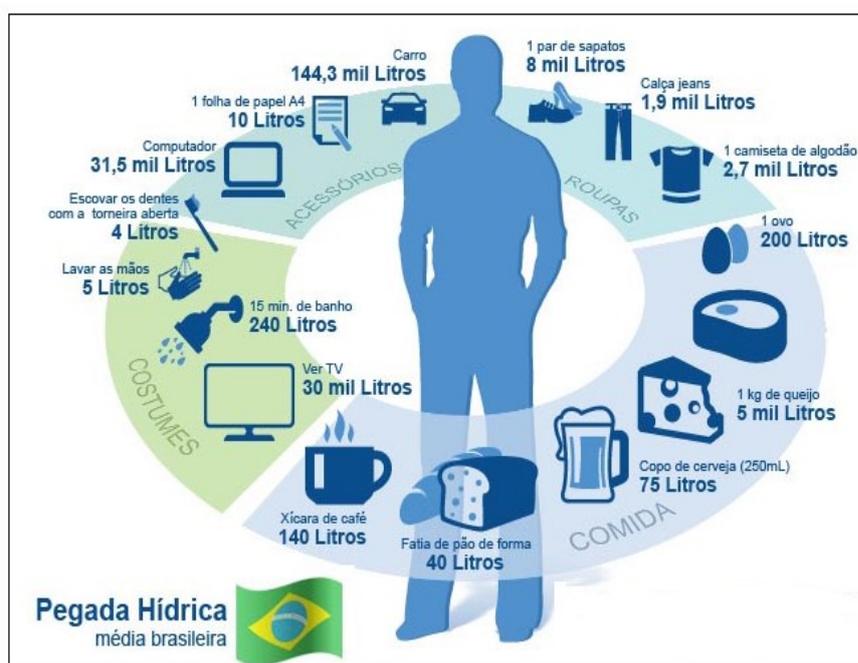
A discussão sobre pegada hídrica abre espaço também para questionamentos ainda mais profundos. Um dos mais relevantes, diz respeito à produção de produtos, discutindo a quantidade de água empregada na produção e o significado dessa produção em termos nacionais. As estimativas sobre quanto se gasta de água para produção de alguns produtos e alimentos estão na Figura 3, ressaltando que são valores médios tendo em vista a grande variabilidade que existe em termos ambientais e de variedade de produtos.

Do ponto de vista empresarial, suponhamos que um produto utilize uma matéria-prima com uma alta pegada hídrica verde (localizado em uma região com alta precipitação), entretanto com alta competição por água superficial ou subterrânea (pegada hídrica azul). Com o advento das mudanças climáticas e a conseqüente mudança nos padrões de precipitação nas

mais diversas localidades do planeta, pode ser que a área na qual está matéria-prima é produzida sofra com as consequências dessa alteração, e estando em uma área com disputas por água azul, este fornecedor pode ser uma fonte potencial de risco para os negócios (ENCICLO,2015).

Estimasse que cada brasileiro consuma 5.559 (mil litros de água por dia). Esta conta é feita somando toda água utilizada direta e indiretamente para a produção de bens e consumo, e também nas atividades cotidianas (O TEMPO, 2015).

Figura 3 Relação de produtos e suas respectivas pegadas hídricas, referentes a sua produção



Fonte- (Revista Exame. Com, 2015)

A pegada hídrica de um processo é expressa por volume de água por unidade de tempo. A pegada hídrica de um produto é demonstrada sempre em termos de volume de água por unidade de produto (normalmente m³ /ton ou litro/kg). A pegada hídrica de um consumidor ou produtor é sempre expressa como o volume de água por unidade de tempo. Podendo ter o nível de detalhe desejado, a pegada hídrica pode ser expressa por dia, mês ou ano.

A pegada hídrica total da humanidade é igual à soma das pegadas hídricas de todos os consumidores do mundo, que é a soma das pegadas hídricas de todos os bens e serviços consumidos anualmente e também é igual à soma de todos os processos de consumo ou poluição de água no mundo (HOEKESTR ET AL, 2011).

2.3.4 Estimativa da Pegada Hídrica

A água é um recurso natural essencial ao planeta e para a sobrevivência da humanidade. O uso desordenado desses recursos hídricos aponta a importância de realizações de estudos para garantir sua preservação e gestão de forma mais eficiente. A pegada hídrica aparece como um forte parâmetro ambiental que se concentra em avaliar as necessidades diretas e indiretas de água para sustentabilidade do planeta. (HOEKSTRA, 2004).

2.3.5 Limitações da Pegada Hídrica

O conceito de Pegada Hídrica é relativamente recente e a sua avaliação uma nova ferramenta. A avaliação da Pegada Hídrica é uma ferramenta útil para quantificar e localizar Pegadas Hídricas, para avaliar se essas pegadas são sustentáveis e identificar opções para as reduzir, se necessário.

A Pegada Hídrica não é mais do que um indicador relevante num tema muito amplo do desenvolvimento sustentável, justiça e uso eficiente dos recursos naturais. Evidentemente, temas como o desenvolvimento sustentável necessitam de uma abordagem multidisciplinar, devendo por isso ser complementado com uma grande Variedade de outros indicadores relevantes. Do mesmo modo, a avaliação da Pegada Hídrica não é mais do que uma ferramenta para entender as complexas relações entre a sociedade e o ambiente, centrando-se sobre a utilização dos recursos de água doce em função da sua limitada disponibilidade. Este indicador não aborda as questões da água que não estão relacionadas com a escassez, nomeadamente enchentes ou falta de infraestruturas de abastecimento de água adequando às comunidades carenciadas.

A avaliação da Pegada Hídrica é, assim, um instrumento parcial, que deverá ser usado em combinação com outros meios analíticos, a fim de proporcionar uma compreensão de toda a gama de questões relevantes na tomada de decisões. A rápida adoção da Pegada Hídrica como um indicador global de apropriação humana de água doce é muito útil para colocar a escassez de água doce na agenda de governos e empresas (HOEKSTRA ET AL, 2011).

Em resumo, as principais limitações da Pegada Hídrica são as seguintes:

A avaliação da Pegada Hídrica concentra-se na análise da utilização da água doce, tendo em conta os recursos limitados deste tipo de água, não abordando outros temas ambientais como as alterações climáticas, a depleção de minerais, a fragmentação de habitats, a limitada disponibilidade de terra ou a degradação do solo. Também não tem em conta os aspetos sociais

ou económicos, tais como a pobreza, o emprego e o bem-estar. A avaliação da Pegada Hídrica dá ênfase às questões ambientais, sociais e económicas, apenas na medida em que o consumo dos recursos hídricos afeta a biodiversidade, saúde, assistência social ou a distribuição justa e equitativa deste recurso. É necessário reconhecer que a redução da Pegada Hídrica da humanidade é somente um desafio para ser observado num contexto mais amplo e num extenso leque de outros desafios (HOEKSTRA ET AL, 2011).

A avaliação da Pegada Hídrica aborda as questões da escassez da água doce e da sua poluição, porém não tem em conta a problemática das inundações, bem como a problemática da escassa acessibilidade de certas populações à água potável, uma vez que se trata de uma questão de pobreza e não de um problema de escassez de água. Além disso, a Pegada Hídrica refere-se à água doce e não ao uso e poluição da água do mar. A avaliação da Pegada Hídrica é limitada na consideração das atividades humanas dentro de uma bacia hidrográfica.

2.4 TELHAS CERÂMICAS

A telha cerâmica é um dos materiais de construção mais utilizados e aplicados em edificações de moradia ou industriais. O consumo de água dentro do setor de construção, onde se inclui a produção de materiais cerâmicos, é responsável por grande parte dos impactos sobre o meio ambiente, sendo uma grande consumidora de recursos naturais, como a água e a energia, liberando grandes quantidades de resíduos sólidos e poluentes que vão ser depositados diretamente no meio ambiente (ANICER, 2000).

O grande desafio para todos que se encontram envolvidos com o setor da construção civil é a implementação do uso mais sustentável e equitativo da água, por parte das empresas e dos cidadãos envolvidos neste setor. Um dos indicadores ambientais que mais vem sendo discutido mundialmente envolve o conceito da Pegada Hídrica. A água é usada, em quase todos os serviços de engenharia, às vezes como componente e outras como ferramenta. O cálculo da Pegada Hídrica pode ajudar a controlar melhor o consumo e fazer análises sociais, económicas e ambientais de qualquer indústria.

O trabalho realizado pretende, além de determinar a Pegada Hídrica da telha cerâmica, contribuir para a criação de uma base de dados com as Pegadas Hídricas dos diversos materiais de construção.

2.4.1 Histórico

Estudos arqueológicos indicam a ocorrência de utensílios cerâmicos a partir do período Pré-neolítico (25000 a.C.) e de materiais de construção, como tijolos, telhas e blocos, por volta de 5000 a 6000 a.C.

Segundo pesquisa da Faculdade de Tecnologia de Lisboa, peças cerâmicas elaboradas com argila datam de 4000 a.C., elaboradas com formas bem definidas, mas utilizando processo que não contemplava o cozimento das mesmas.¹ Datam também dessa mesma época os indícios da utilização de tijolos na construção, fabricados na Mesopotâmia.

Os primeiros tijolos queimados datam de 3000 a.C., cuja aplicação estava voltada aos revestimentos externos e muros de proteção, apesar da técnica ter se desenvolvido séculos antes, especialmente na queima de utensílios domésticos. E entre 1600 e 1100 a.C. foram encontrados, onde ficava localizada a Babilônia, alguns exemplares de tijolos queimados (GOMES, 1983)

Em 430 a.C. foram encontradas telhas na Grécia, além de indícios de sua utilização na China e Japão por volta do mesmo período (ANICER, 2000).

Alguns anos depois, em torno de 280 a.C., identifica-se a utilização, por parte dos Romanos, da utilização de barro cozido para construção de telhados, assim como para fabricação de divindades, objetos ornamentais e artefatos utilitários. A atividade foi aprimorando-se e, por volta do século I a.C., começa a revelar evolução na qualidade proveniente da tecnologia produtiva empregada resultando peças de maior valor estético e monetário (GRIMMER; WILLIANS, 2002).

2.4.1.1 Telha Cerâmica no Brasil

No Brasil, há mais de 2000 anos, antes mesmo da descoberta do Brasil, existia no país a atividade de fabricação de cerâmicas, representada por potes, baixelas e outros artefatos cerâmicos.

A cerâmica mais elaborada foi detectada na Ilha de Marajó; do tipo marajoara, tem sua origem na avançada cultura indígena da Ilha. Entretanto, estudos arqueológicos indicam que a presença de uma cerâmica mais simples ocorreu na região amazônica, há mais de 5000 anos atrás. No que tange à cerâmica vermelha, as escassas e imprecisas informações referem-se à utilização no período Colonial, a partir de técnicas de produção rudimentares introduzidas

pelos jesuítas, que necessitavam de tijolos para construção de colégios e conventos (ANFACER, 2012)

A partir de 1549, com a chegada de Tomé de Sousa ao país, é estimulada a produção material de construção para o desenvolvimento de cidades mais bem planejadas e elaboradas.

Em 1575 há indícios do uso de telhas na formação da vila que viria a ser a cidade de São Paulo/SP. E foi a partir desse estímulo que começa a se desenvolver a atividade cerâmica de forma mais intensa, sendo as olarias o marco inicial da indústria em São Paulo. Com maior concentração nas últimas décadas do século XIX, a produção nas olarias se dava por meio de processos manuais, e em pequenos estabelecimentos, e tinham como produto final tijolos, telhas, tubos, manilhas, vasos, potes e moringas, os quais eram comercializados localmente (ANICER, 2000).

A primeira grande fábrica de produtos cerâmicos do Brasil foi fundada em São Paulo, em 1893, por quatro irmãos franceses, naturais de Marselha, com o nome de Estabelecimentos Sacomã Frères, posteriormente alterado para Cerâmica Sacoman S.A., a qual encerrou suas atividades em 1956. O nome das telhas conhecidas por “francesas” ou “marselhesas” é devido à origem destes empresários (ANICER, 2000).

Nos últimos anos do século XIX e início do XX houve um processo de especialização nas empresas cerâmicas, o que gerou uma separação entre olarias (produtoras de tijolos e telhas) e “cerâmicas” (produtoras de itens mais sofisticados, como manilhas, tubos, azulejos, louças, potes, talhas etc.).

2.4.2 Produtos cerâmicos

Para classificar um produto cerâmico deve-se levar em consideração o emprego dos seus produtos, natureza de seus constituintes, características texturais do biscoito (massa base), além de outras características cerâmicas, técnicas e econômicas (ANICER, 2000).

A tabela abaixo relaciona os setores cerâmicos, bem como seus produtos e as respectivas matérias-primas utilizada e processo de fabricação. Nesse sentido, a partir da matéria-prima utilizada identificam-se as cerâmicas tradicionais (ou silicáticas) de base argilosa, tais como: cerâmica estrutural ou vermelha, cerâmica branca e de revestimentos (MOTTA, 2001)

Figura 4 Setores cerâmicos por matéria prima

Classificação		Produto	Matéria-prima								Processo de		Temperatura de Queima (C)											
Tipo de	Grupo**/ Setor		Não -Plástica								Moagem via úmida	Moagem via seca	Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	> 1.200		
			Argila	Argila	Caulim	Feldspato	Filito	Talco	Calcário	Quartzo													Outros	
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lages	P									P											
			Telha	P				O						P	P									
			Agregado leve	P							O			P										
	2	Cerâmica Branca	Grês Sanitário		P	S		P	O		S	O	P											
			Porcelana Mesa		P	P					P	P		S	S	O								
			Porcelana Eletr.		P	P					P	P		S	S	O								
			Faiança		P	O	S	S	S	P	S		P				P							
	3	Revestimentos	Pisos Rústicos	P								O		P										
			Pisos via Seca	P										P		P								
			Azulejo		P	P				O	S	S	P			P								
			Piso Gresificado	O	P	S	S	P	O		S		P	O	P									
			Grês Porcelânico		P	S	P			O	S	O	P			P								
	Outros	4	Refratários			O					O	P												
		5	Isolantes				O				O	P												
		6	Especiais								O	P												
7		Cimento	S							P	S	O	P											
8	Vidro								S	P	P													

P = Processo ou composição principal (> 20 %) S = Processo ou composição secundária (< 10%) O = Processo ou composição ocasional

Fonte: MOTTA, José Francisco Marciano, (2001, p.87)

2.4.2.1 Cerâmica vermelha

A cerâmica vermelha é caracterizada por produtos oriundos da argila ou misturas contendo argila, através de moldagem, secagem e queima da mesma, de onde vem a cor avermelhada que dá o seu nome [...] (VERÇOSA, 1987 apud GRIGOLETTI, 2001). As argilas de queima vermelha ou argilas comuns são as que mais se destacam entre as substâncias minerais, em função do volume de produção e do maior consumo, sendo especialmente utilizadas na produção de cerâmica vermelha e de revestimento.

necessita de uma telha de boa qualidade, e desempenho condizente com o previsto no material empregado (NBR 15315, 2005).

A escolha do tipo e material adequados da telha usada deriva de fatores como ocorrências de chuvas ou neve, temperaturas médias da região, vãos e, naturalmente, disponibilidade de materiais, mão-de-obra no local e o modo em que o material será utilizado.

2.4.3 Processo de Fabricação

Na indústria da cerâmica vermelha os processos são tão variados quanto os produtos, havendo desde os mais rudimentares até os mais automatizados. No entanto, para qualquer processo, três etapas fundamentais estão sempre presentes, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 Etapas básicas nos processos de produção



Fonte- IKEDA, GRICOLETTI, (2001, p.79)

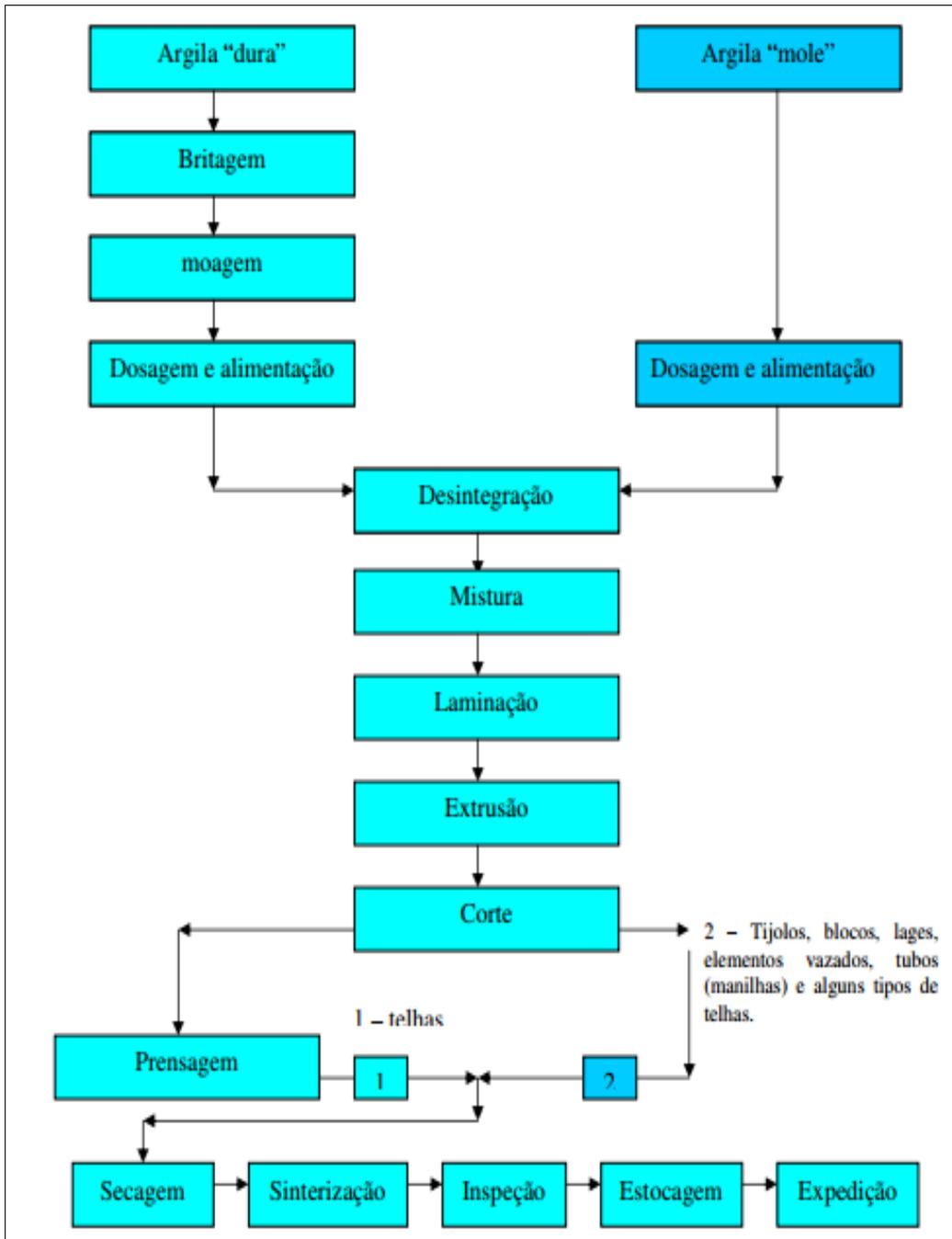
Podemos exemplificar o processo produtivo de telhas em duas etapas conforme se observar na Figura 7 do fluxograma.

A primeira etapa é das argilas duras, rochas, onde inicia sua britagem, passando pelo processo de moagem para a redução da distribuição de tamanho de partículas, transformando-a em pó, para posteriormente ser dosada conforme formulação definida.

A segunda etapa que é realizada paralelamente com a primeira, a argila mole, plástica, vai para dosagem conforme formulação estabelecida.

As duas etapas anteriores se unem em uma com a desintegração das argilas moles e duras. Estas vão para o misturador, onde são umidificadas acima do limite de plasticidade, geralmente acima de 20 %, homogeneizadas e em seguidas passam pelo processo de laminação, para a prévia retirada de ar existente na mistura. O ar que restou é retirado na etapa de extrusão

Figura 7 Fluxograma do processo produtivo de telhas cerâmicas.



Fonte-www.ceramicaindustrial.org.br, (2017)

2.4.3.1 Descrição do processo de fabricação

A matéria-prima na indústria de telha cerâmica é a argila. Sendo um minério, é adquirido através de minas escavadas na crosta terrestre a céu aberto, tradicionalmente chamadas de barreiros (VERÇOSA, 1994).

Figura 8 Barreiros de argila



Fonte: Empresa Barrobelo, (2014)

Depois de extraída e transportada para a fábrica, a argila deve passar por uma fase de apodrecimento, que consiste no repouso a céu aberto do material com a finalidade principal de promover a fermentação das partículas orgânicas, aumentando a plasticidade. O apodrecimento também serve para diminuir as pressões sobre as argilas (FIEMG, 2009). Em seguida, o tratamento da matéria-prima envolve as seguintes fases:

- Destorreador, que consiste na eliminação de impurezas que possam prejudicar o material, como grãos duros, raízes, pedras;
- Dosador, que consiste em reduzir a argila a pequenos fragmentos;
- Homogeneizar, que envolve a mistura mais homogênea possível entre desengordurante e as argilas;
- Desagregadores, que consiste em quebrar os torrões duros;
- Laminador, consiste em moer materiais maiores que eventualmente estejam presentes na argila;
- Amassar, que consiste em adicionar água à matéria-prima com o objetivo de facilitar o procedimento seguinte, a moldagem.
- Moldar, a fase de preparação e moldagem das peças depende basicamente da quantidade de água que está presente na mistura Verçosa, 1994)

apresenta uma classificação para o processo de moldagem com o teor de humidade:

- a) Moldagem a seco ou semi-seco (com 4 a 10% de água);
- b) Moldagem com pasta plástica consistente (com 20 a 35% de água);
- c) Moldagem com pasta plástica mole (com 25 a 40% de água);
- d) Moldagem com pasta fluída (com 40 a 50% de água).

O tipo de processo mais empregado para a moldagem das telhas, é a moldagem com pasta plástica consistente. Transporta-se a argila com uma pá carregadora para um dosador, repetindo novamente o processo de reduzir as partículas ao máximo a pequenos fragmentos. É feita a extrusão da argila através de um molde acoplado à boca da máquina. Procede-se ao corte da argila, sendo o corte feito por uma guilhotina formada, na saída da máquina de modo a obter telhas com as dimensões pretendidas. As telhas são em seguida agrupadas e carregadas por um equipamento de elevação e deposição mecânicas nas sucessivas prateleiras de uma estante de secagem (VERÇOSA, 1994).

Figura 9 Máquina de moldagem



Fonte: Autores, (2017)

A fase da secagem das peças é tão importante como a queima, porque ainda permanecem 5 a 30% de água. Grande parte desta humidade é removida durante a secagem e o

resto durante a queima. Durante a secagem evapora a água livre, permanecendo no material uma humidade de equilíbrio. O mecanismo total da secagem consiste na evaporação da humidade das zonas internas de maior concentração para as externas de menor concentração. Estes dois fenómenos, a evaporação superficial e a difusão interna através da peça, devem realizar-se, simultaneamente e com a mesma velocidade, até que se interrompa a secagem ou até o final da mesma (VERÇOSA, 1994).

A secagem é realizada basicamente de quatro formas:

- Secagem natural: é o processo mais utilizado na maioria das olarias produtoras de telhas. É realizada em locais ao abrigo do sol e sem paredes laterais, permitindo intensa circulação do ar. Geralmente é demorada e exige grandes áreas;
- Secagem por ar quente-húmido: o material é colocado em secadores onde recebe ar quente com alto teor de humidade, até que desapareça a água absorvida. Em seguida, recebe só ar quente para perder a água de capilaridade. Isso reduz o aparecimento de deformações;
- Secadores semi-contínuos em túnel: são túneis pelos quais se faz passar o calor residual dos fornos (de 40 a 150 °C). As peças são colocadas em pequenos vagões que percorrem o túnel lentamente, indo da menor para a maior temperatura;
- Secagem por radiação infravermelha: é pouca usada, devido ao custo e por só servir para peças delgadas. No entanto, dá alto rendimento e pouca deformação, sendo somente usada para peças de precisão.

As peças, durante a secagem, devem ser empilhadas de modo que ofereçam a todas as faces um contato com o ar, não devendo ser colocados em prateleiras de materiais absorventes, pois a diferente retração das faces originará distorções (VERÇOSA, 1994).

Figura 10 Secagem das telhas no processo natural



Fonte: Autores, (2017)

Posteriormente, as telhas secas são descarregadas das estantes à saída do secador e dispostos em vagões que os vão transportar durante o período de cozedura num forno. A queima é provavelmente a parte mais importante na fabricação da telha.

Durante o cozimento ocorrem reações químicas diversas: algumas mais rápidas e outras mais lentas, algumas que devem completar-se e outras que devem ser evitadas, algumas que devem ocorrer no início e outras, no final do processo (ABC RAM, 2012).

Um dos principais cuidados que devem ser tomados durante a fase de queima é o de se dar uniformidade ao calor do forno para evitar que umas peças fiquem mais queimadas do que as outras; deve-se também procurar atingir as temperaturas ideais (ABC RAM, 2012).

A queima é realizada nos fornos, que podem ser de dois tipos, intermitentes, que podem ser de calor ascendente ou descendente, ou contínuos, que podem ter a carga ou zona de fogo móvel.

Os fornos intermitentes são mais “simples” e geralmente utilizados em olarias menores. O calor é gerado fora dos fornos e circula pelo interior através das pilhas de telhas até a chaminé (FIEMG, 2009). Pode ocorrer que algumas peças não sejam cozidas uniformemente, havendo a necessidade de descartá-las no final do processo.

Os fornos contínuos, bem mais avançados que os intermitentes, são formados por uma série de câmaras de modo que quando uma está em fogo, o ar aquecido atravessa todas as

demais antes de sair pela chaminé. A produção é contínua, sem necessidade de paragem para carga ou descarga dos produtos (FIEMG, 2009).

Os principais tipos de forno contínuos são:

Forno Hoffmann: é obtido pela ligação de diversos fornos intermitentes. Utiliza 50% a menos de combustível em relação aos fornos intermitentes, uma vez que usa o ar quente das câmaras em fogo para fazer o pré-aquecimento das câmaras seguintes. Pode ter a forma circular, oblonga ou retangular (FIEMG, 2009). O combustível usual é a lenha, mas também pode ser utilizado carvão em pó.

Forno Túnel: é o melhor forno, se comparado com qualquer um dos anteriores.

É um túnel longo que tem na sua porção central a câmara de queima. O material é introduzido sobre vagões móveis, passa por um pré-aquecimento e sai na outra extremidade já na temperatura adequada. O combustível usual é óleo, mas o forno pode ser projetado para lenha, carvão, gás e eletricidade, entre outros. O grande inconveniente do forno tipo túnel é o seu alto custo inicial e a necessidade de que sejam feitas adaptações na velocidade e na chama cada vez que se deseja mudar o material a ser cozido (FIEMG, 2009).

Figura 11 Forno túnel



Fonte: Autores, (2017)

No final do processo, após um resfriamento, as telhas são descarregadas dos vagões, embalados por cintagem com fita de polipropileno e colocados sobre paletes de madeira, por meio de um equipamento automático de descarga, cintagem e paletização. As paletes são retiradas do tapete de descarga por meio de um empilhador que as transporta e deposita no parque de armazenamento e expedição (FIEMG, 2009).

2.4.3.2 Aspectos ambientais da indústria cerâmica

Aspecto ambiental é o mecanismo através do qual uma ação humana causa um impacto ambiental. Uma ação humana pode levar a vários aspectos ambientais e causar diversos impactos ambientais (LEMOS, 2008).

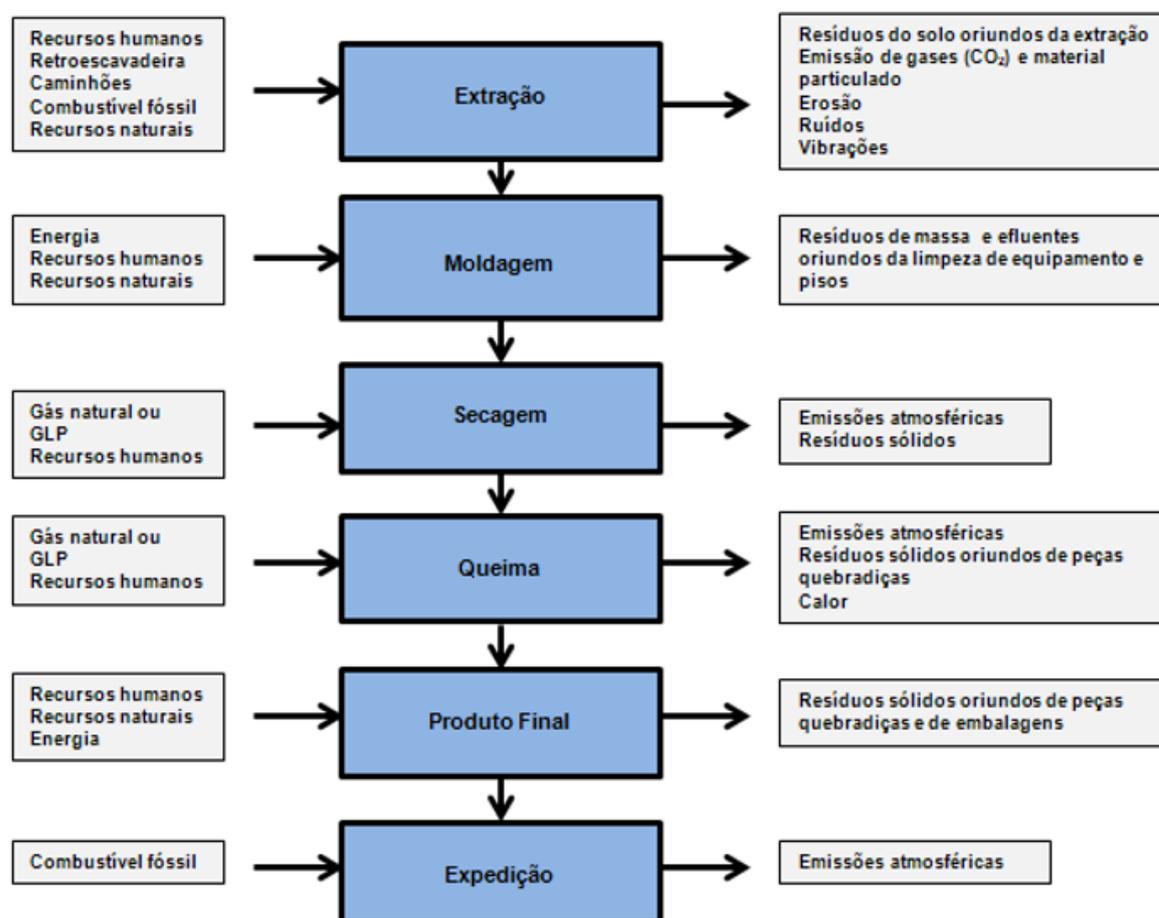
Conforme Política Nacional de Meio Ambiente (Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981), em seu artigo 3º, inciso II, a degradação ambiental é definida como “alteração adversa das características do meio ambiente”.

De acordo com a revisão bibliográfica, os aspectos ambientais considerados na indústria de cerâmica vermelha são:

- Energia elétrica;
- Matéria-prima;
- Recursos humanos;
- Recursos naturais, entre outros.

A Figura 12 apresenta as etapas do processo de produção de tijolos, blocos e telhas de cerâmica (extração, moldagem, secagem, queima e produto acabado) e seus aspectos e impactos ambientais considerados. As etapas apresentadas representam uma possibilidade de configuração e não são, necessariamente, a regra para todas as empresas do setor.

Figura 12 Etapas do processo produtivo de tijolos, blocos e telhas cerâmicas e seus aspectos e impactos ambientais considerados



Fonte: NUNES, Mônica Belo, (2012, pg43)

2.4.3.3 Consumo e impactos considerados

A seguir, são apontados os principais impactos ambientais que podem resultar do processo produtivo da indústria cerâmica, também serão discutidas as relações de causa e efeito entre os processos produtivos e o meio ambiente.

a) Consumo de água

A água é usada em grande quantidade em quase todas as etapas do processo de fabricação dos produtos cerâmicos, sendo que sua qualidade é essencial em etapas como preparação da argila, nos corpos de argila para extrusão e moldagem, entre outros.

Além de seu uso como parte integrante do processo, a água é utilizada nas operações de limpeza de pisos e de lavagem de máquinas, equipamentos e demais instalações industriais (Adaptado de GRICOLETTI, 2001).

b) Consumo de recursos naturais

A avaliação dos recursos naturais envolve o consumo de matéria-prima, a argila. Os aspectos considerados neste item são (Adaptado de GRICOLETTI, 2001):

- Área de extração e volume de argila mensal extraído;
- Técnica usada na extração;
- Previsão da vida útil da jazida (Adaptado de GRICOLETTI, 2001).

A seguir são apresentadas algumas ações e medidas específicas que deveriam ser tomadas durante a extração da argila (Adaptado de OLIVEIRA; MAGANHA, 2006):

- Procurar informações sobre a área degradada com a extração;
- Mapeamento de extensão da jazida de argila para evitar degradação ambiental da região;
- Preocupação com a recomposição da área, volume extraído, técnicas usadas na extração, otimização na extração, consumo do mesmo e abundância do recurso;
- Realização de estudos de caracterização da geologia regional e planejamento da extração da argila das lavras, com o objetivo de evitar a degradação de nascentes e recursos hídricos, bem como áreas de proteção permanente e de proteção ambiental;
- Melhoria nos sistemas de destorroamento de argila e contenção de seu arraste hídrico e eólico;
- Melhoria nas condições de armazenamento de argila seca, definição de sistema para sua alimentação e utilização de estoque, a fim de evitar perda de matéria-prima;
- Melhoria do sistema de cobertura da argila transportada em caminhões, durante o transporte da jazida para o local de
- Melhoria do sistema de cobertura da argila transportada em caminhões, durante o transporte da jazida para o local de beneficiamento para evitar perdas de matéria-prima e poluição atmosférica por material particulado

3 METODOLOGIA

A elaboração desta pesquisa foi dividida em três etapas: a primeira foi marcada por pesquisas bibliográficas com a finalidade de buscar metodologias e projetos já elaborados de acordo com as normas vigentes.

A segunda etapa surgiu com o levantamento de informações, verificando os equipamentos utilizados e os hábitos voltados ao consumo de água. Nesse sentido, foi realizado um levantamento quantitativo da utilização de água de acordo com os conceitos estudados.

E a terceira etapa foi efetuada pelo desenvolvimento do projeto para o cálculo da pegada hídrica em uma indústria de telhas cerâmicas através dos dados obtidos. O dimensionamento foi elaborado de acordo com o que se obteve da primeira e da segunda etapas.

O cálculo da Pegada Hídrica envolve três componentes: Pegada Hídrica azul, Pegada Hídrica verde e a Pegada Hídrica cinzenta.

O somatório destas três componentes é que nos dará o valor final da pegada hídrica calculada para a telha cerâmica em estudo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

As empresas ou fábricas de telhas, são comuns na região de Sangão e a atividade vem crescendo, acompanhando o crescimento das edificações. Entretanto, com o crescimento da atividade cresce também o consumo de água potável na região também.

O projeto foi realizado a partir de dados de uma conceituada empresa de telhas, situada na zona urbana, no município de Sangão. O município está localizado na região sul de Santa Catarina, com aproximadamente 10.400 habitantes, de acordo com a fonte do IBGE de 2010. A estimativa para 2017 é de 12.233 habitantes

Figura 13 Cidade de Sangão e principais cidades do sul do estado de Santa Catarina



Fonte: (Google mapas; 2011)

A empresa cujos dados da pesquisa foram obtidos, atua no ramo cerâmico há mais de 40 anos, a empresa em estudo, cujo nome foi pedido a nós para não ser revelado, é uma das mais conceituadas empresas do segmento na produção de telhas no Brasil, voltando suas atividades para a produção de telhas naturais de beleza e qualidade.

Em 2005, a empresa aumentou sua área de atuação e passou a oferecer os seus produtos impermeabilizados ou revestidos pela beleza das cores do poliéster que hoje podem ser encontrados em estabelecimentos comerciais em todo o Brasil. Tecnologia e inovação fizeram da Cerâmica uma empresa de referência que sempre tratou com respeito seus clientes e parceiros. Isso trouxe credibilidade ao nome da empresa e possibilitou um relacionamento de confiança mútua com os clientes e consequente estabilidade comercial.

3.2 PEGADA HÍDRICA DO PRODUTO

O trabalho de pesquisa em estudo centra-se na determinação da Pegada Hídrica da telha de cerâmica vermelha de barro natural e pretende contribuir para a criação de uma base de dados, dentre os diversos tipos de materiais utilizados na construção civil.

Para este estudo, as fases do processo de produção das telhas estudadas foram as seguintes:

- Pré-preparação da Pasta;
- Moldagem da massa;
- Secagem;
- Queima;

Estas fases de produção são as que consomem água no seu processo ou que a água é evaporada. Não foram considerados os processos de produção dos restantes dos materiais e energia, bem como os transportes, por falta de dados que permitam o cálculo da Pegada Hídrica destes processos. Por tais motivo foram excluídas as fases de extração da matéria prima, expedição, uso e opções de fim de vida (dos resíduos da embalagem). Sendo assim, será considerado a partir do ponto em que a matéria prima entra no processo de produção e é transformada com este processo em um novo produto, embalado e direcionado ao seu destino de estocagem.

A unidade em relação à qual todos os resultados serão expressos, em m³/ton de telha.

Os dados foram obtidos na empresa em estudo, cuja localidade se encontra na cidade de Sangão, Santa Catarina. Estes dados foram fornecidos pelo setor de tecnologia da mesma empresa. São dados estimados relativos ao ano de 2016.

Quanto a água utilizada no processo cabe salientar que e fornecida pela rede de abastecimento do município de Sangão.

Tabela 1 Dados fornecidos da empresa

Consumo de agua mensal da empresa	140m ³
Consumo de agua mensal na produção da telha portuguesa 41x22	45m ³
Produção mensal de telha portuguesa 41x22	50.000 unidades ou 120 toneladas

Fonte: Autores, (2017)

A telha em análise é a telha de barro natural 41x22 cm, com peso médio de 2,4kg, tradicionalmente chamado de telha portuguesa. Na tabela 2 estão apresentadas as características técnicas da telha em estudo. E a Figura 14 uma amostra da telha.

Tabela 2 Características da telha portuguesa

Telha barro natural não esmaltada “Portuguesa”	Características
Altura	41 (cm)
Largura	22(cm)
Espessura	2,8(cm)
Peso	2,4(Kg)
Resistência	3,8(Mpa)
Cobrimento	11,12 telhas/m ²

Fonte: Autores, (2017)

Figura 14 Telha portuguesa em estudo



Fonte: Autores, (2017)

3.3 ETAPAS DO CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA

3.3.1 Cálculo da pegada hídrica azul

O valor referente a Pegada Hídrica Azul é resultante do somatório do consumo de água azul utilizado para a produção de um bem ou serviço. O consumo se refere ao volume total de água doce usada na produção ou então evaporada durante o processo de acabamento do produto. A “Pegada Hídrica Azul” também inclui as águas de superfície ou subterrâneas captadas numa bacia e devolvidas em outra bacia ou no mar.

A Pegada Hídrica Azul é medida de acordo com a equação 1:

Equação 1

$$PH_{proc.azul} = \text{água azul incorporada} + \text{água azul evaporada} + p.f.r$$

Onde:

$PH_{proc.azul}$ = Pegada Hídrica azul do produto

p.f.r = perda no fluxo de retorno

A última parcela da equação refere-se à parte do fluxo de retorno de água que não fica disponível para reutilizar na mesma bacia hidrográfica, num mesmo período de tempo, quer porque regressou a outra bacia hidrográfica (ou foi descarregado ao mar), ou porque regressou num outro período de tempo.

Em um sistema simples de produção o valor da pegada hídrica azul do produto é igual à soma das resultantes da Pegada Hídrica Azul, dividida pela quantidade produzida do produto.

A equação resultante para o cálculo da Pegada Hídrica Azul do produto ficaria:

Equação 2

$$PH_{proc.azul} = \frac{\text{água azul incorporada} + \text{água azul evaporada} + p.f.r}{\text{quantidade produzida}}$$

A Pegada Hídrica Azul é expressa em volume de água por unidade de tempo ou em volume de água por tonelada do produto.

3.3.2 Cálculo da pegada hídrica verde

O valor referente a Pegada Hídrica Verde é resultante do somatório do volume de água da chuva consumida durante um processo produtivo. Ela é particularmente relevante para os produtos florestais e agropecuários, pois se refere à água da chuva evaporada pela transpiração das plantações, somada à quantidade de água incorporada ao produto.

A Pegada Hídrica Verde é medida de acordo com a equação 3:

Equação 3

$$PH_{proc,verde} = \text{Água verde evaporada} + \text{Água verde incorporada}$$

Tal que:

$PH_{proc,verde}$ = Pegada Hídrica Verde do produto.

O valor resultante na Pegada Hídrica Verde no processo de produção de telhas é igual a zero, uma vez que não há qualquer consumo de água verde.

3.3.3 Cálculo da pegada hídrica cinzenta

A Pegada Hídrica Cinza de um produto é definida como o volume de água doce necessária para diluir os poluentes de modo que a qualidade da água se mantenha sempre acima dos padrões vigentes.

A Pegada Hídrica Cinza é medida de acordo com a equação 4:

Equação 4

$$PH_{proc,cinza} = \frac{L}{(c_{max} - c_{nat})}$$

Tal que:

$PH_{proc,cinza}$ = Pegada Hídrica Cinza do produto.

L = carga poluente

C_{max} = concentração máxima admissível

C_{nat} = concentração natural no corpo de água

A Pegada Hídrica cinzenta é calculada pela divisão da carga poluente (L, em massa/tempo) pela diferença entre o padrão e qualidade de água para o poluente (concentração máxima admissível, $c_{máx}$, em volume/tempo) e a sua concentração natural no corpo de água receptor (c_{nat} , em massa/volume).

3.3.4 Pegada hídrica do processo de produção de telhas cerâmicas

A Pegada Hídrica associada ao processo de produção de telha ($PH_{proc,telha}$) é o somatório da resultante azul, verde e cinzenta.

A Pegada Hídrica Total é medida de acordo com a equação 5:

Equação 5

$$PH_{proc,telha} = PH_{proc,azul} + PH_{proc,verde} + PH_{proc,cinzenta}$$

Tal que:

$PH_{proc,telha}$ = Pegada Hídrica da telha

$PH_{proc,azul}$ = Pegada Hídrica Azul

$PH_{proc,verde}$ = Pegada Hídrica Verde

$PH_{proc,cinza}$ = Pegada Hídrica Cinza

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão descritos por tipo de Pegada Hídrica para posterior avaliação final.

4.1 PEGADA AZUL

Para o cálculo do componente azul da Pegada Hídrica na produção da telha cerâmica em estudo, foram fornecidos pela empresa os dados que se encontram na tabela 2 deste trabalho.

A quantidade de água usada no processo de fabricação da telha em estudo foi de 45 m³, quantidade está referente a água incorporada no processo de fabricação mais a água que se evapora nesse mesmo processo. A água é inserida na fase de Pré-preparação da Pasta, na fase de moldagem e também na fase de amassadura. Posteriormente, na fase de Secagem e na fase de queima a água é evaporada. Quanto ao fluxo de retorno que é a quantidade de água que não regressa à mesma bacia, por não se conhecer os dados da bacia a qual pertence, não se pode apurar a perda no fluxo de retorno e por isso assumiu-se o valor de zero.

A quantidade de telhas cerâmica portuguesa 41x22 produzida mensalmente foi de 120 toneladas, sendo que a unidade corresponde é de 50.000 unidades/mês.

Utilizando-se da Equação 2, para o cálculo da Pegada Hídrica Azul do produto, temos:

$$PH_{\text{proc.azul}} = \frac{\text{água azul incorporada} + \text{água azul evaporada} + p.f.r}{\text{quantidade produzida}}$$

$$PH_{\text{proc.azul}} = \frac{45\text{m}^3}{120 \text{ toneladas}}$$

$$PH_{\text{proc.azul}} = 0,375\text{m}^3/\text{tonelada}$$

A Pegada Hídrica Azul do produto (PH_{proc.azul}) é de 0,375m³/tonelada, ou o equivalente a 0,9 litros/telha.

4.2 PEGADA VERDE

As componentes da Pegada Hídrica Verde no processo de produção de telhas cerâmicas é zero uma vez que não há qualquer utilização de água verde (água da chuva). A água verde refere-se à água da chuva que fica armazenada no solo ou que fica temporariamente sobre o solo ou vegetação e que, portanto, não sofre escorrência superficial nem recarga de bacias hidrográficas.

4.3 PEGADA CINZA

Para o cálculo da Pegada Hídrica cinzenta associada a produção das telhas cerâmicas se fez necessário encontrar os valores da carga poluente (L), valores estes que se encontram na Tabela 3, conforme os valores recolhidos junto ao Setor de tecnologia da empresa em estudo.

Os valores dos poluentes emitidos para a água como, a Carência Química de Oxigénio (CQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Óleos Minerais, também se encontram na Tabela 3 Valores da carga poluente (L), valores limite de emissão (VLE). Estes valores foram retirados do Decreto-Lei nº236/98 de 1 de Agosto e considerando o valor limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais em meio hídrico. Tal decreto se encontra no (anexo I) deste trabalho. Seguindo a recomendação de HOESKSTRA ET AL (2011, pg.48), assumiu-se o valor da concentração natural no corpo de água (cnat) igual a zero devido à ausência de dados mais concretos.

Tabela 3 Valores da carga poluente (L), valores limite de emissão (VLE)

Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais, (cmax) em (mg/litro)		Carga poluente(L)em(kg/ton.)
CQO- Carência Química de Oxigénio	150	$2,0 \times 10^{-4}$
SST- Sólidos Suspensos Totais	60	$1,9 \times 10^{-4}$
OM-Óleos minerais	15	$1,0 \times 10^{-4}$

Fonte: Autores (2017).

Utilizando-se da Equação 4, para o cálculo da Pegada Hídrica Azul do produto, temos:

$$PH_{proc,cinza} = \frac{L}{(c_{max} - c_{nat})}$$

A Pegada Hídrica Cinzenta ($PH_{proc,cinza}$), referente a Carga poluente (L), pelos valores limites de emissão (VLE) será :

Pegada Hídrica Cinza para a carência química de oxigênio (CQO):

$$PH_{proc,cinza}(CQO) = \frac{2,0 \times 10^{-4}}{(150-0)} = 1,33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ton.}$$

Pegada Hídrica Cinza para os sólidos suspensos totais (SST):

$$PH_{proc,cinza}(SST) = \frac{1,9 \times 10^{-4}}{(60-0)} = 3,16 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ton.}$$

Pegada Hídrica Cinza para os óleos minerais (OM):

$$PH_{proc,cinza}(SST) = \frac{1,0 \times 10^{-4}}{(15-0)} = 6,66 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ton.}$$

O valor da Pegada Hídrica Cinza que foi obtido, que corresponde ao maior valor de água necessário para diluição dos poluentes, foi o dos óleos minerais $6,66 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ton}$. Como este valor corresponde ao pior cenário iremos utiliza-lo como o valor da Pegada Hídrica Cinza para a telha cerâmica em estudo.

4.4 RESULTADO DA PEGADA HÍDRICA NA PRODUÇÃO DE TELHAS CERÂMICAS

A Pegada Hídrica da telha cerâmica em estudo e resultado da somatória das três Pegadas Hídricas resultantes, e calculada pela Equação 5:

$$PH_{proc,telha} = PH_{proc,azul} + PH_{proc,verde} + PH_{proc,cinza}$$

$$PH_{proc,telha} = 0,375 \text{ m}^3/\text{tonelada} + 0 + 6,66 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ton.}$$

$$PH_{proc,telha} = 0,381 \text{ m}^3/\text{ton.}$$

A pegada hídrica total para a telha cerâmica em estudo e de $0,381 \text{ m}^3/\text{ton}$.

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Com base nos dados calculados, chegamos a uma pegada hídrica resultante para telha cerâmica portuguesa em estudo no valor de 0,381 m³/ton.

Os valores encontrados com o cálculo da pegada hídrica das telhas referem-se ao valor da Pegada Hídrica Azul e o valor da Pegada Hídrica Cinza, pois para este produto o valor da pegada Hídrica verde é zero.

Podemos notar que a Pegada Azul representa mais de 99% da Pegada Hídrica Total, isto porque, a Pegada Hídrica Cinza pouco contribui para a Pegada Hídrica Total, uma vez que as maiores emissões são para a atmosfera e não propriamente para a água.

Podemos dizer que o valor da pegada hídrica da telha cerâmica em estudo em litros por tonelada é de 381litros/ton., e este valor em litros por telha produzida é de (0,91litros/telha).

Em uma visão ambiental, os valores da Pegada Hídrica Cinza não são em um grau elevado, uma vez que a grande maioria da água é evaporada nos sistemas de Secagem e queima.

A Pegada Hídrica azul, que é a componente com maior valor na Pegada Hídrica Total da telha cerâmica estudada, ainda poderia ter sofrido alguma alteração, uma vez que não se pode avaliar se há mudanças nos padrões de escoamento, e também não se pode incluir os cálculos desta pegada desde a extração da matéria prima, podendo gerar alterações de valores.

Na visão Social, deve-se procurar um esforço de sensibilização para racionalizar o consumo de água e tomar consciência de que a água é um recurso limitado por parte de todos os que se incluem na cadeia produtiva de uma empresa que de forma direta e indireta fazem parte da produção de telhas cerâmicas.

Na visão econômica, a aplicação de novas técnicas e medidas que visem a redução de água na produção de telhas seriam viáveis. Todavia, para que haja um uso mais eficiente do recurso água, principalmente, na componente azul, que é a mais significativa neste setor.

5 CONCLUSÃO

Pode se concluir com o desenvolver deste estudo que a Pegada Hídrica é uma ferramenta na gestão dos recursos hídricos capaz de quantificar o consumo de água doce na cadeia produtiva e monitorar todo o impacto humano sobre o meio ambiente. Os indicadores de sustentabilidade devem ser usados e interpretados em conjunto visando à avaliação dos impactos ambientais de produção e consumo.

A metodologia da pegada hídrica tem uma vasta gama de aplicações que podem ser empregadas em escalas que vão desde um único produto, um processo, um setor, indivíduo e cidades, até nações e todo o mundo. Esta técnica fornece uma resposta específica da pressão humana sobre o meio ambiente e ajuda de forma mais abrangente a monitorar o pilar ambiental da sustentabilidade. Este indicador de sustentabilidade sugere a possibilidade de que a humanidade demanda por recursos maiores do que o planeta pode fornecer de forma sustentável. Tal excesso de consumo tende a aumentar de forma significativa devido à rápida expansão econômica, bem como pela urbanização, migração, mudanças de estilo de vida e outras grandes transições sociais no mundo.

Procurou-se durante os estudos deste trabalho quantificar a Pegada Hídrica associada à produção das telhas cerâmicas, e identificar os principais componentes de consumo de água relacionada com o produto em análise.

Pode-se demonstrar através dos cálculos realizados que a Pegada Hídrica resultante das telhas cerâmicas em estudo foi de $0,381\text{m}^3/\text{ton.}$, e que as componentes da Pegada Hídrica que contribuirão para este valor foram a componente azul e a cinza.

Mais importante que os cálculos e resultados adquiridos no decorrer deste trabalho, foi a aplicação da metodologia que poderá permitir uma base para novos estudos de cálculos dos diversos produtos que fazem parte do setor da construção civil.

Verificou-se que ainda é muito pouco disseminado os conceitos da Pegada Hídrica dentro do ramo da construção civil. Foram diversas as limitações que um projeto como este tem de enfrentar, principalmente no que diz respeito a dados para a obtenção dos resultados. Assim como foram tomadas diversas soluções para tentar adequar com precisão o resultado final.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. M., Demertzi, M., Dias, A. C., & Arroja, L. (2013). Environmental Product Declaration for Ceramic Tile. Sustainable Cities: Designing for People and the Planet. Coimbra: Energy for Sustainability 2013.

ALMEIDA, M. (2014). Declarações Ambientais de Produto – Uma aplicação prática. Acesso em 23 de fevereiro de 2014, disponível em APAL - Associação Portuguesa do Alumínio: http://www.apal.pt/pdf/2_Denominacao_Ambiental_Produto_Marisa_Almeida_CTCV.pdf

ALTHUS, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Hischer, R., Hellweg, S., . . . Nemecek, T. (2007). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Acesso em 07 de setembro de 2015, disponível em Ecoinvent database V.2.2. Swiss Center for Life Cycle Inventories: http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/publicLCI/03_LCIA-implementation.pdf

ALLAN, J.A., 2003, “Virtual Water - the Water, Food, and Trade Nexus Useful Concept or Misleading Metaphor?” IWRA, Water International, Volume 28, Number 1. London, United Kingdom

BERGER, M., FINKBEINER, M., 2010. “Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment?”. Sustainability, V. 2, pp. 919-944.

BERGER, M., FINKBEINER, M., 2010. “Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment?”. Sustainability, V. 2, pp. 919-944.

BRASIL, 1997, “Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997.” Diário Oficial da União

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA), 2005, “Resolução nº 357, de 17 de março de 2005”. Diário Oficial da União, nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Brasília, DF.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), 2011, “Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011”. Diário Oficial da União.

FERREIRA, C.E., 2012, Sistema de Suporte à decisão espacial aplicado à análise da vulnerabilidade dos recursos hídricos na bacia Guapi-Macacu / RJ. Tese de MSc., Centro de Tecnologia e Ciências/UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

HAMMER, M. J., 1979. Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos. Rio de Janeiro, Brasil, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

HOEKSTRA, A. Y., 2002, “Virtual water trade: An Introduction.” Value of Water Research Report Series, No 11. Delft, The Netherlands: IHE.

HOEKSTRA, A. Y., A. K. CHAPAGAIN., 2008, Globalization of Water: Sharing the Planet’s Freshwater resources. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2008.

HOEKSTRA, A. Y., LEENES, W. G., MEER, T. H., 2009. “Reply to Pfister and Hellweg: Water footprint accounting, impact assessment, and life-cycle assessment”. PNAS, V. 106. Disponível em: <http://www.pnas.org/content/106/40/E114.full>.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., 2007, “Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern”, Water Resources Management, ed. 21, pp. 35-48.

HOEKSTRA, A.Y., 2008, “Measuring Your Water Footprint: What’s Next in Water Strategy” Leading Perspectives, pp. 12-19.

HOEKSTRA, A.Y., 2010, “The water footprint: water in the supply chain”, The Environmentalist, v. 93, pp. 12-13

HOEKSTRA, A.Y., HUNG, P.Q., 2002, “Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows Between Nations in Relation to International Crop Trade.” Value of Water Research Report Series No 11. Delft, The Netherlands: IHE.

HOEKSTRA, A.Y., MEKONNEN, M.M., CHAPAGAIN, A.K., MATHEWS, R.E, RICHTER, B.D., 2012. “Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability”, PLoS ONE, ed. 32688.

HOEKSTRA, A.Y; CHAPAGAIN, A. K; ALADAYA, M.M; MEKONNEN, M.M., 2011, The Water Footprint Assessment Manual. In: ISBN: 978-1-84971-279-8 hardback, London • Washington, DC.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA), 2013. Regiões Hidrográficas do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.inea.antigo.rj.gov.br/recursos/photos/Mapa_DOT2_ResRH.jpg

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2001. Plano de Manejo da Área de proteção ambiental de Guapimirim

MORTON, F.I., 1983, “Operational Estimates of Lake Evaporation”, Journal of Hydrology, v. 66, pp. 77-100.

MULLER, G. T., 2012. Emprego da Pegada Hídrica e da Análise de Ciclo de Vida para a avaliação do uso da água na cadeia produtiva do biodiesel de soja. Tese de MSc., Instituto de Pesquisas Hidráulicas/ UFRGS. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

MULLER, G. T., 2012. Emprego da Pegada Hídrica e da Análise de Ciclo de Vida para a avaliação do uso da água na cadeia produtiva do biodiesel de soja. Tese de MSc., Instituto de Pesquisas Hidráulicas/ UFRGS. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

NEGREIROS, D.H., ARAUJO, F.P., COREIXAS, M.A, 2002. Nossos Rios. Instituto Baía de Guanabara, Niterói, RJ, 34p. Disponível em: http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/publicatiop/nossos-rios-estudo-do-institutobaia-de-guanabara-ibg/wppa_open/.

PFISTER, S., KOEHLER, A. HELLWEG, S., 2009. “Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA”. Environmental Science and Technology, V.43, pp. 4098-4104.

PLANETA SUSTENTÁVEL, 2013, A água que você não vê. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/download/stand2-painel4-agua-virtual.pdf>. Acesso em: 16/01/2016.

PRAKASH, P., HOSKINS, D., SENGUPTA, A.K., 2004, “Application of homogeneous and heterogeneous cation-exchange membranes in coagulant recovery from water treatment plant residuals using Donnan membrane process”, *Journal of Membrane Science* V. 237.

ROQUE, R. de O., SANSIGOLO, C. A., 2000, “Estimativas de Evaporação do Lago de Taquaruçu, SP pelo Modelo Conceitual de Morton”, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, pp. 21-28. Disponível em: https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/22f148ce26f4e5a9d508bd7734f96507_75cc3f987c18cad93de4b90aaba2f0aa.pdf

SEGAL, R., MACMILLAN, T., 2009. “Water Labels on Food: Issues and Recommendations”. Food Ethics Council. Brighton, UK. Disponível em: http://www.foodethicscouncil.org/uploads/publications/waterlabels_0.pdf.

SILVA, E. R. A., 2015. Avaliação Estratégica para a Recuperação das Águas Residuais da ETA Laranjal/RJ. Tese de MSc., Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

VON SPERLING, M., 2005, *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte.

WATER FOOTPRINT NETWORK (WFN), 2008, disponível em: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>. Acessado em: 06 de dezembro de 2015.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF), 2010, *Planeta Vivo Relatório 2010: Biodiversidade, biocapacidade e desenvolvimento*. Disponível em: http://assets.wwfbr.panda.org/downloads/08out10_planetavivo_relatorio2010_completo_n9.pdf.

www.waterfootprint.org. (n.d.). Retrieved from Footprint.

ANEXO 1 – Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais

Anexo I- Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais

Decreto-Lei nº 236/98 de 01-08-1998

ANEXO XVIII - Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais

Parâmetros	Expressão dos resultados	VLE (1)
<i>pH</i> (0)	Escala de Sorensen	6,0-9,0 (2)
Temperatura (0)	°C	Aumento de 3°C (3)
CBO ₅ , 20°C (20) (0)	mg/l O ₂	40
CQO (0)	mg/l O ₂	150
SST (0)	mg/l	60
Alumínio	mg/l Al	10
Ferro total	mg/l Fe	2,0
Manganés total	mg/l Mn	2,0
Cheiro	—	Não detectável na diluição 1:20
Cor (0)	—	Não visível na diluição 1:20
Cloro residual disponível:		
Livre	mg/l Cl ₂	0,5
Total	mg/l Cl ₂	1,0
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	0,5
Óleos e gorduras	mg/l	15
Sulfuretos	mg/l S	1,0
Sulfitos	mg/l SO ₃	1,0
Sulfatos	mg/l SO ₄	2000
Fósforo total	mg/l P	10 3 (em águas que alimentem lagoas ou albufeiras) 0,5 (em lagoas ou albufeiras)
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	10

Azoto total	mg/l <i>N</i>	15
Nitratos	mg/l <i>NO₃</i>	50
Aldeídos	mg/l	1,0
Arsénio total	mg/l <i>As</i>	1,0
Chumbo total	mg/l <i>Pb</i>	1,0
Cádmio total	mg/l <i>Cd</i>	0,2
Crómio total	mg/l <i>Cr</i>	2,0
Crómio hexavalente	mg/l <i>Cr(VI)</i>	0,1
Cobre total	mg/l <i>Cu</i>	1,0
Níquel total	mg/l <i>Ni</i>	2,0
Mercúrio total	mg/l <i>Hg</i>	0,05
Cianetos totais	mg/l <i>CN</i>	0,5
Sulfuretos	mg/l <i>S</i>	1,0
Óleos minerais	mg/l	15
Óleos minerais	mg/l	15
Detergentes (sulfato de lauril e sódio)	mg/l	2,0 ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾

(1) VLE - valor limite de emissão, entendido como média mensal, definida como média aritmética das médias diárias referentes aos dias de laboração de um mês, que não deve ser excedido. O valor diário, determinado com base numa amostra representativa da água residual descarregada durante um período de vinte e quatro horas, não poderá exceder o dobro do valor médio mensal (a amostra num período de vinte e quatro horas deverá ser composta tendo em atenção o regime de descarga das águas residuais produzidas).

(2) O valor médio diário poderá, no máximo, estar compreendido no intervalo 5,0-10,0.

(3) Temperatura do meio receptor após a descarga de água residual, medida a 30 m a jusante do ponto de descarga, podendo o valor médio exceder o valor médio mensal do 2.º

(4) O valor médio diário não poderá exceder o dobro do valor médio mensal.

(5) Valor relativo à descarga da unidade industrial para a produção de HCH extracção de lindano ou, simultaneamente, produção de HCH e extracção de lindano.

Início de Vigência: 08-08-1998