

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

Fernando Hiroshi Mastrocolla Fuzii

**POTÊNÇIAL DO MÉTODO AHP (ANALYTIC HIERARCHY
PROCESS) COMO SUBSÍDIO ÀS TOMADAS DE DECISÃO
NO SETOR DA ENGENHARIA CIVIL**

**Guaratinguetá
2016**

FERNANDO HIROSHI MASTROCOLLA FUZII

**POTENCIAL DO MÉTODO AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS)
COMO SUBSÍDIO ÀS TOMADAS DE DECISÃO NO SETOR DA
ENGENHARIA CIVIL**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva

Guaratinguetá
2016

F993p Fuzii, Fernando Hiroshi Mastrocolla
Potencial do método AHP (Analytic Hierarchy Process) como
subsídio às tomadas de decisão no setor da Engenharia Civil / Fernando
Hiroshi Mastrocolla Fuzii– Guaratinguetá, 2016.
52 f. : il.

Bibliografia : f. 50

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.

Orientador: Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Processo decisório. 3. Construção civil. I. Título

CDU 504

**POTÊNÇIAL DO MÉTODO AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS)
COMO SUBSÍDIO ÀS TOMADAS DE DECISÃO NO SETOR DA
ENGENHARIA CIVIL**

FERNANDO HIROSHI MASTROCOLLA FUZII

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Prof. Dr. George de Paula Bernardes
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva
UNESP-FEG


Profª. Drª Márcia Regina de Freitas
UNESP-FEG


Prof. Msc. Daniel C. V. R. Silva
UNESP/FEG

Julho de 2016

DADOS CURRICULARES

FERNANDO HIROSHI MASTROCOLLA FUZII

NASCIMENTO	19.09.1991 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	João Yoshihiro Fuzii Nilce Mastrocolla Fuzii
2010/2015	Curso de Graduação Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá.

Dedico este trabalho à minha mãe e
sua mentalidade jovem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai, *João* e minha mãe *Nilce* por me apoiarem nos caminhos que escolhi e nas escolhas que fiz, durante todos os anos de minha vida.

A minha namorada, *Gabriele*, pela paciência no período e por me transmitir força de vontade, carinho e atenção a todo instante.

Aos meus amigos da República 6 de Paus, em especial ao *Me. Engº. Gustavo Braga*, que me ajudou na elaboração deste trabalho.

A minha orientadora, *Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin*, que me auxiliou no desenvolvimento deste estudo e ao *Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira* que me ajudou com as ferramentas de tomada de decisão.

Aos professores: *Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva*, *Profª. Drª. Márcia Regina de Freitas* e o *Prof. Msc. Daniel C. V. R. Silva*, pelo apoio e auxílio nas etapas de conclusão deste trabalho.

FUZII, F. H. M. Potencial do método AHP (Analytic Hierarchy Process) como subsídio às tomadas de decisão no setor da engenharia civil. 2016. 53f. Trabalho de Graduação (Graduando em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

O aumento da população brasileira é hoje estimado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1 habitante a cada 19 segundos. Seguindo esse ritmo por ano haverá um aumento populacional de aproximadamente 1,6 milhões de pessoas, este número representa o quão importante é o estudo de novas tecnologias construtivas de forma a fornecer para esta população em expansão, uma capacidade de desenvolvimento sustentável, de forma a se recuperar os muitos anos de depredação do planeta, em anos passados onde os recursos pareciam inesgotáveis e não careciam de atenção. No entanto, no Brasil a cultura de preservação é pequena, mas crescente, e a recuperação de danos à natureza é quase nula. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização do método de Análise Hierárquica (AHP), no projeto de uma residência que não levaria em conta no seu projeto original, medidas ecologicamente corretas ou sustentáveis. Dentre as inúmeras possibilidades e alternativas foram selecionadas 3 alterações no projeto que em comum visariam uma redução nas alterações prejudiciais ao meio ambiente. Não fica a cargo deste trabalho a avaliação aprofundada de cada alteração proposta sobre a visão ecologicamente correta ou realmente sustentável, este tem como finalidade a aplicação do método AHP para com o tema de sustentabilidade na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, Ambientalismo, AHP, captação de água, drenagem, energia solar.

FUZII, F. H. M. Potential of AHP method as an aid to decision-making in the civil engineering sector 2016. 53f. Graduate Work (Graduate in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

The increase of the population is now estimated by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) 1 inhabitant every 19 seconds. Following this pace a year there will be a population increase of approximately 1.6 million people, this number represents how important is the study of new building technologies in order to provide for this population expanding a capacity of sustainable development, to recover many years of depredation of our planet in past years where resources seemed inexhaustible and did not require attention. However, in Brazil the culture of preservation is small but growing, and the recovery of damage to nature is almost zero. In this context, this study aimed to evaluate the use of the method of Analytic Hierarchy Process (AHP), the project of a residence that would not consider in its original design, measures environmentally friendly or sustainable options. Among the numerous possibilities and alternatives were selected 3 design changes that would aim in common a reduction in harmful changes to the environment. It is not in charge of this work in-depth evaluation of each proposed amendment on the Eco or truly sustainable vision, this is intended for the application of AHP to the theme of sustainability in construction.

KEYWORDS: Sustainability, Environmentalism, AHP, water collection, drainage, solar energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Layout da residência	20
Figura 2 – Detalhe em perspectiva do piso concregrama	21
Figura 3 – Detalhe do telhado e sistema de captação de água	21
Figura 4 – Média anual de radiação solar diária	24
Figura 5 – Média anual de insolação diária em horas	25
Figura 6 – Barril de 90 litros	26
Figura 7 – Detalhe da calha, filtro e cisterna	27
Figura 8 – Detalhes do macro filtro	28
Figura 9 – Detalhes da placa de captação solar marca Heliotek	29
Figura 10 - Corte do telhado para detalhe da instalação do reservatório	30
Figura 11 – Estrutura da hierarquia de decisão	33
Figura 12 – Exemplo de comparação entre os três aspectos	34
Figura 13 – Interface do programa para inserção dos valores eVetor	36
Figura 14 – Gráfico de porcentagem do aspecto ambiental	40
Figura 15 – Gráfico de porcentagem do aspecto econômico	40
Figura 16 – Gráfico de porcentagem do aspecto estético	41
Figura 17 – Resultados gerados pelo software Super Decision	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pluviosidade da cidade de Santo Antônio do Pinhal-SP (CEPAGRI /2015).....	22
Tabela 2 – Tarifas do fornecimento de água e/ou coleta de esgoto para Unidade Vale do Paraíba	23
Tabela 3 – Valor estimado de água e esgoto	23
Tabela 4 – Tarifas de baixa tensão da distribuidora Elektro	24
Tabela 5 – Passos da decomposição de uma decisão (SAATY,2008)	30
Tabela 6 – Escala Fundamental de Saaty (SAATY, 2008)	31
Tabela 7 – Referência ACI	35
Tabela 8 – Orçamento materiais da calha.....	37
Tabela 9 – Orçamento mão de obra.....	38
Tabela 10 – Orçamento materiais concreto/dreno	38
Tabela 11 – Custo dos materiais sistema resistor e sistema solar	38
Tabela 12 – Comparação entre o subcritério Ambiental	39
Tabela 13 – Comparação entre o subcritério econômico	40
Tabela 14 – Comparação entre o subcritério Estético	41
Tabela 15 – Desempenho das alternativas quanto ao consumo de água	42
Tabela 16 – Desempenho das alternativas quanto ao desperdício de água	42
Tabela 17 – Desempenho das alternativas quanto a quantidade de material usado	43
Tabela 18 – Desempenho das alternativas quanto ao custo de aquisição.....	43
Tabela 19 – Desempenho das alternativas quanto ao Custo de implantação	44
Tabela 20 – Desempenho das alternativas quanto ao Custo de Manutenção	44
Tabela 21 – Desempenho das alternativas quanto ao Conjunto Arquitetura.....	45
Tabela 22 – Desempenho das alternativas quanto ao Design do produto	45
Tabela 23 – Comparação estética Calha x Sistema de Captação	46
Tabela 24 – Comparação estética Concretado x Drenos	46
Tabela 25 – Comparação estética Chuveiro resistor x Aquecedor solar	46
Tabela 26 – Ponderação dos critérios.....	46
Tabela 27 – Normalização dos critérios	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analytic Hierarchy Process
EPS	Expanded Polystyrene
NBR	Norma Brasileira
PL	Projeto de Lei
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SINDUSCON SP	Sindicato da indústria da construção civil de São Paulo

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVOS	16
2.1.	Objetivo geral	16
2.2.	Objetivos específicos	16
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1.	Panorama da construção civil	17
3.2.	O mercado sustentável	17
3.3.	Sistema drenante	18
3.4.	Aquecimento solar de água	18
3.5.	Captação de água	18
3.6.	Método Analytic Hierarchy Process	19
4.	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1.	Localização e caracterização	20
4.2.	Orçamentos	25
4.2.1.	Calha simples e calha com captação	25
4.2.2.	Concreto e drenos	28
4.2.3.	Chuveiro com resistor e aquecedor solar	29
4.3.	Passos de decomposição da decisão	30
4.4.	Escala Fundamental de números absolutos	31
4.5.	Quantificação dos valores estéticos	32
4.6.	Aplicação do método AHP	32
4.7.	Tabela ponderada dos critérios	34
4.8.	Normalização	35
4.9.	Consistência	35
4.10.	Taxa de consistência	35
4.11.	Análise paritária	36
4.12.	eVetor	36
4.13.	Adicionando os valores ao software	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1.	Orçamentos	37
5.1.1.	Calhas	37
5.1.2.	Concreto e grama	38
5.1.3.	Resistor e solar	38
5.2.	Análise paritária dos subcritérios	39
5.2.1.	Aspecto ambiental	39
5.2.2.	Aspecto econômico	40
5.2.3.	Aspecto estético	41
5.3.	Análise paritária das equações	41
5.3.1.	Consumo de energia	41
5.3.2.	Desperdício de água	42
5.3.3.	Material usado	42
5.3.4.	Custo de aquisição	43
5.3.5.	Custo de implantação	43
5.3.6.	Custo de manutenção	44
5.3.7.	Conjunto arquitetura	44
5.3.8.	Design do produto	45
5.4.	Quantificação dos valores estéticos	45
5.4.1.	Calha x Sistema de captação	45
5.4.2.	Concretado x Grama e drenos	46

5.4.3.	Chuveiro resistor x aquecedor solar	46
5.5.	Tabela ponderada dos critérios	46
5.6.	Normalização	47
5.7.	Ilustração dos resultados	47
5.8.	Manipulação da Matriz	48
5.9.	Comparativos	49
6.	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade pode ser entendida como “um conjunto de procedimentos que permitem que um bioma se mantenha vivo, protegido, alimentado de nutrientes a ponto de sempre se conservar bem e substituir ao longo do tempo, estando sempre à altura dos riscos que possam ocorrer, e não apenas de se conservar assim como é, mas também para que possa prosperar, fortalecer-se e evoluir com os seus indivíduos (BOFF, 2012).

A busca por sustentabilidade está entre as principais metas da construção civil, uma vez que os resíduos em geral de uma cidade, quando dispostos de forma inadequada são responsáveis por uma degradação do meio ambiente, afetando a qualidade de vida da população, os serviços dos ecossistemas e a disponibilidade de recursos naturais.

Dado que os resíduos das atividades da construção civil constituem a maior fração em massa dos resíduos gerados nas cidades, seu reaproveitamento e destinação devem ser de grande importância (SINDUSCONSP, 2012).

Nos países europeus a sustentabilidade no setor de construção civil tem sido uma das principais metas. Na França, por exemplo, em março de 2015 foi aprovada a lei que torna obrigatória a instalação de telhados verdes ou com painéis solares para a geração de energia. Por outro lado, no Brasil são recentes as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em especial a Resolução 307/2002, que vem sendo reformulada e que trata especificamente da gestão de resíduos da construção civil em consonância com as normas NBR 15112/2004, NBR 15113/2004, NBR 15114/2004, NBR 15115/2004, que buscam destinos mais nobres para os resíduos.

Uma construção apresenta infinitas alternativas de projeto, e estes podem variar em função de diferentes fatores, como custos, materiais empregados e metodologias. Quando se avalia uma alternativa com a finalidade de diminuir os danos ambientais em uma construção, são criados outros milhares de fatores e possibilidades para esse projeto. Neste sentido, o Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* AHP) vem sendo amplamente utilizado desde sua criação em 1970 quando foi proposto pela primeira vez pelo professor Thomas Saaty, nos mais diversos setores da engenharia, como na agrônômica, na civil, na produção e na economia.

Neste estudo foi avaliada a aplicação do método AHP na análise e tomada de decisão sobre alternativas para a redução do consumo de energia, água e da geração de resíduos em um projeto de uma residência.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o potencial de aplicação do método AHP como subsídio para as tomadas de decisão no setor de engenharia civil, visando a redução dos impactos ambientais causados pelo elevado consumo de energia, água e pela geração de resíduos.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar financeiramente a substituição da tubulação do sistema de calhas simples da residência por sistema de calhas com filtros e armazenamento;
- Avaliar financeiramente a substituição do concreto por um sistema drenante natural;
- Avaliar financeiramente a implantação do aquecedor solar em uma residência para uso de 4 pessoas;
- Comparar as alternativas sustentáveis neste projeto com as comumente utilizadas nas construções convencionais de forma a avaliar seus custos e benefícios;
- Verificar a confiabilidade da decisão do método AHP.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Panorama da construção civil

O cenário atual da construção civil brasileira é uma grande corrida para se adaptar as medidas de modernização e controle de todos os processos que compõem uma obra, desde o seu pré-projeto à manutenção, que já vem sendo utilizados e exigidos por outros países. Estas medidas são boas formas de controle e possibilitam uma análise minuciosa dos impactos de cada etapa, tanto ambientalmente quanto financeiramente em uma obra. Porém como enfrentado em qualquer tomada de decisão, os muitos fatores envolvidos nestes, dispendem grande parte da atenção dos gestores e, muitas vezes, a limitação do cérebro humano é o responsável por escolhas que não seriam as ideais para estes.

Quando o assunto é uma construção visando materiais e métodos ecologicamente corretos, o leque de opções se abre ainda mais para o engenheiro. Hoje temos diversos softwares que ajudam a planejar e controlar uma obra, entretanto para se analisar entre opções tradicionais construtivas ou opções sustentáveis ainda se tem grande dificuldade em saber quais são as decisões ideais.

3.2. O mercado sustentável

É de constante discussão e com certeza não é um conceito definido, mesmo que muitos estudiosos tentem descrever o real significado da palavra sustentável. Pelas diferentes culturas e formas de se pensar, mesmo em um mundo tão globalizado como o atual, a definição de sustentável fica sempre sendo atualizada, conforme aumenta a conscientização ambiental entre a população.

Entretanto há algumas décadas, muitas opções visando uma redução dos danos ao meio ambiente ou uma forma sustentável de produção, têm sido desenvolvidas, apesar de constantemente, estudos apontarem que certas opções sustentáveis são igualmente prejudiciais ou até mesmo mais prejudiciais que as opções tradicionais.

Apesar de especulações comerciais e de produtos que são lançados ao mercado como forma de aproveitamento da onda de sustentabilidade sem um estudo prévio do mesmo, deve-se constantemente estudar as opções para que essa sustentabilidade seja um dia alcançado.

3.3. Sistema drenante

A falta de conhecimento apontou, durante muitos anos, os esgotos não tratados e os despejos industriais como os únicos responsáveis pela poluição dos corpos d'água durante o processo de urbanização. Hoje se sabe que parte dessa poluição tem origem no escoamento superficial das chuvas que incidem sobre as áreas urbanizadas. Esse escoamento ao atravessar áreas impermeáveis, áreas com atividades em construção, depósitos de lixo ou resíduos industriais, remove e transporta o material solto ou solúvel encontrado no percurso da água até os corpos d'água, levando cargas poluidoras bastante significativas (FANTINATTI, 2015).

Um projeto sustentável de drenagem de águas pluviais, ao contrário do paradigma de engenharia tradicional do século XX – que primava pelo afastamento mais rápido possível das águas de chuva para jusante da área drenada –, deve conceber a máxima retenção das águas de chuva em sua área de precipitação (FANTINATTI, 2015).

3.4. Aquecimento solar de água

Por dia, mais energia solar chega à Terra do que a energia total que os 6,6 bilhões de habitantes do planeta consumiram em 27 anos. Atualmente, usa-se apenas cerca de 1% de energia solar (ROGERS, 2009). Esses números demonstram o quão grande é o potencial energético solar que se tem para absorver e também a quão pouco desenvolvida é a tecnologia de captação e aproveitamento da energia solar.

Entretanto mesmo com uma cultura fortemente dominante de apoio às hidrelétricas e a utilização de combustíveis fósseis no país, vêm crescendo e se disseminando as alternativas para utilização de energia solar ou de outras fontes renováveis, conforme mostra o mais recente estudo Energy Outlook 2016 encomendado pela British Petroleum.

3.5. Captação de água

Já faz alguns anos que diversos governos dos estados do Brasil estão criando leis (PL 7818/2014, PL 531/2015, PL 2198/2015, PL 1283/2015, PL 2566/2015, PL 1750/2015, PL 3401/2015) para que a captação de água se torne um requisito para as novas construções de edifícios e residências. Essas medidas além de visarem o aproveitamento das águas pluviais e assim ter uma grande economia nos investimentos para com o fornecimento e tratamento da

água pelas concessionárias visa também uma diminuição no fluxo da rede de drenagem urbana.

Segundo os autores Fendrich e Oliynik (2002) publicaram no Manual de utilização das águas pluviais, qualquer recipiente pode ser usado para a função de uma cisterna de água desde que siga três condições:

- Não apresente vazamentos;
- Ser feito com material que não contamine a água e não propicie a o aparecimento de algas;
- Possua uma tampa que impeça a evaporação da água reservada e ao mesmo tempo possibilite uma limpeza do interior.

3.6. Método Analytic Hierarchy Process

De acordo com Saaty (2008) somos todos tomadores de decisões e tudo que fazemos consciente ou inconscientemente é o resultado de uma decisão. Para isso o primeiro passo é a busca de alternativas, assim é possível considerar os prós e contras de cada variável para encontrar a melhor, com base no critério escolhido. O problema se encontra quando as alternativas e os critérios são vários, tornando o processo de decisão quase impossível. Outro fator importante é a quantidade de informações que coletamos para fazermos uma análise. No entanto, é preciso ter consciência de que nem toda informação é útil para ajudar o entendimento e o julgamento. Se nós tomarmos as decisões intuitivamente, tendemos a acreditar que todos os tipos de informações são úteis e quanto mais, melhor (SAATY, 2008).

O método desenvolvido pelo professor Thomas L. Saaty tem como base a classificação de “n” alternativas de decisão, através da ponderação de critérios e subcritérios. A análise hierárquica de processos (AHP) consiste em uma teoria de medições que através de comparações entre pares de atributos e julgamentos de prioridades estabelece uma hierarquia entre as alternativas propostas. As comparações são feitas usando uma escala de julgamentos absolutos que representa o quanto um elemento é mais importante que o outro em relação a determinado atributo (SAATY, 2008).

Os professores Uma Devi, Elango e Rajesh em 2012, publicaram um artigo em que utilizavam o método AHP para a seleção de fornecedores em uma cadeia de suprimentos, levando em consideração qualidade, agilidade, custo entre outros critérios. Mishra et. al. publicaram em 14 de Julho de 2015, um estudo de identificação de locais adequados para agricultura orgânica, utilizando AHP, também utilizando o método AHP, Po-Lin Lai, Andrew

Potter, Malcolm Beynon, Anthony Beresford (2015) encontraram o desempenho de eficiência entre 24 aeroportos internacionais fazendo uma análise empírica. Assim podemos notar que o uso do método AHP não é exclusivo para nenhum ramo específico, podendo ser facilmente aplicada para a engenharia civil.

3.6.1. Software Super Decisions

Para o cálculo das matrizes geradas pelo método AHP utilizou-se o software Super Decisions versão 2.2.6 de 2013, desenvolvido por Bill Adams e a fundação Creative Decision. Mesmo que para o desenvolvimento do cálculo das matrizes não seja necessário o uso de um software específico (podendo ser feita suas fórmulas facilmente em outros programas) foi utilizado o Super Decisions, pois esse tem como foco o auxílio e a praticidade em demonstrar os resultados de maneira mais clara para o usuário.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e caracterização

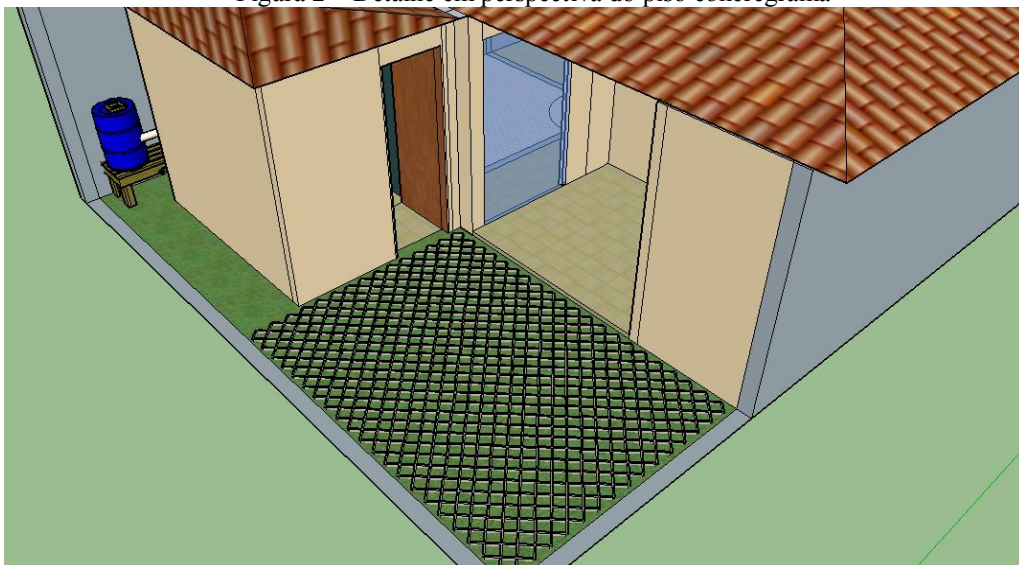
Este estudo considerou o projeto de uma residência em construção com área total de 120m^2 (Figura 1). Para o dimensionamento do volume de água e energia elétrica consumida, considerou-se o consumo para 4 pessoas. O telhado no qual foi estudado a substituição da calha, fica nos fundos da casa, apenas na região do quintal (Figura 2) sobre a edícula conforme ilustra a figura 3.

Figura 1 – Layout da residência



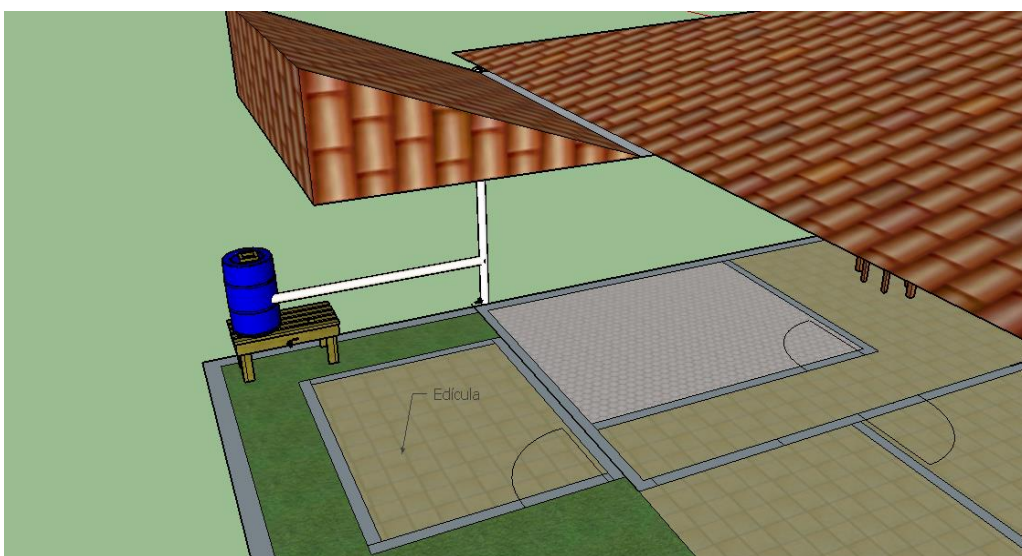
Fonte: Elaboração própria

Figura 2 – Detalhe em perspectiva do piso concregrama



Fonte: Elaboração própria

Figura 3 – Detalhe do telhado e sistema de captação de água



Fonte: Elaboração própria

A residência do projeto se localiza na cidade de Santo Antônio do Pinhal, no estado de São Paulo a 1080 metros de altitude em relação ao nível do mar, possui um clima tropical de altitude com precipitação mensal média de 141,8mm de chuva, conforme mostra a tabela 1 abaixo do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI). Tal região fora escolhida devido a sua proximidade em relação à universidade, e

de suas características naturais (pluviosidade, insolação) estarem dentro das médias quando comparada com outras regiões do estado de São Paulo, conforme ilustra as Figuras 4 e 5.

Dessa forma as substituições propostas neste trabalho podem-se assim transferir para outras regiões, tornando-se necessária apenas as verificações quanto aos outros fatores regionais influenciadores na decisão.

Tabela 1 – Pluviosidade da cidade de Santo Antônio do Pinhal-SP

Mês	Chuva(mm)
Janeiro	276.4
Fevereiro	248.2
Março	204.9
Abril	107.7
Mai	62.9
Junho	48.6
Julho	31.5
Agosto	37.6
Setembro	73.1
Outubro	155.1
Novembro	184.6
Dezembro	272.3
Ano	1702.9
Min	31.5
Max	276.4

Fonte: Adaptado de CEPAGRI (2015)

Para fins de comparação posteriormente, verificou-se que o fornecimento de água para as residências é feita pela companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e tem as tarifas de água e de coleta de esgoto conforme a tabela 2.

Tabela 2 – Tarifas do fornecimento de água e/ou coleta de esgoto para Unidade Vale do Paraíba

Classe de consumo (m³/mês)	Tarifa de água (R\$)	Tarifa de esgoto (R\$)
Residencial / Normal		
0 a 10	17,91/mês	14,36/mês
11 a 20	2,50/m ³	1,98/m ³
21 a 50	3,84/m ³	3,06/m ³
Acima de 50	4,59/m ³	3,65/m ³

Fonte: Adaptado de SABESP (2014)

De acordo com os dados fornecidos pela SABESP (2012) o consumo médio de água per capita é de 161 L dia⁻¹, assim estimou-se que o valor mensal da residência estudada foi de:

$$161 \times 4 \times 30 = 19320 \text{ L}$$

Verificou-se pelos dados apresentados na tabela 3 que a aproximação do valor para 20 m³ mês⁻¹ representou um custo de R\$50,00 referente à tarifa de água e R\$39,60 referente à tarifa de esgoto.

Tabela 3 – Valor estimado de água e esgoto

Classe de consumo (m³/mês)	Tarifa de água (R\$)	Tarifa de esgoto (R\$)
20	50,00	39,60

Fonte: Elaboração própria

Para estimar o uso de água de finalidades não potável (regar as plantas e limpeza) adotou-se 3m³.mes⁻¹.

A distribuidora de energia elétrica considerada para a região estudada foi a Elektro e a tarifa cobrada para uma residência convencional do subgrupo B1-Residencial é de 0,50616 (R\$/kWh), conforme apresenta a tabela 4.

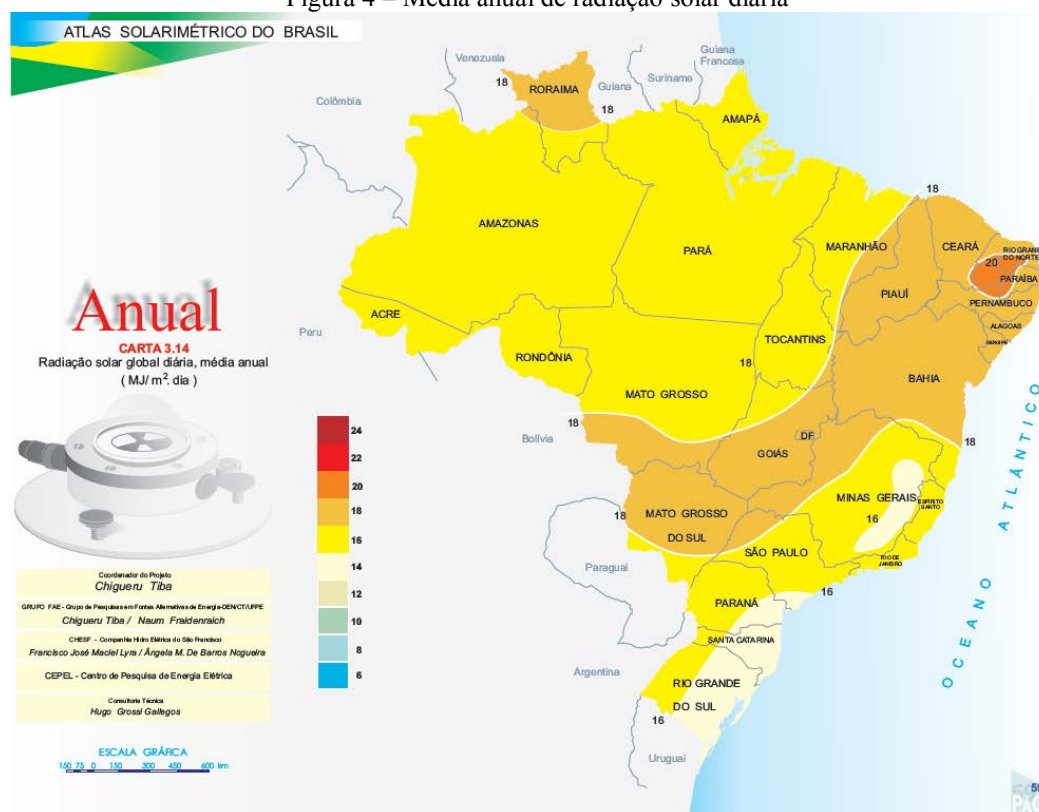
Tabela 4 – Tarifas de baixa tensão da distribuidora Elektro

Modalidade Tarifária CONVENCIONAL			
SUBGRUPO	TE (R\$/kWh)	TU (R\$/kWh)	TARIFA FINAL (R\$/kWh)
B1- Residencial	0,26565	0,24051	0,50616
B1- Residencial Baixa Renda			
Consumo mensal até 30 kWh	0,09298	0,08195	0,17493
Consumo mensal entre 31 até 100 kWh	0,15939	0,14049	0,29988
Consumo mensal entre 101 até 220 kWh	0,23908	0,21074	0,44982
Consumo mensal superior a 220 kWh	0,26565	0,24051	0,50616
B2 - Rural	0,18064	0,16354	0,34418

Fonte: Elaboração própria

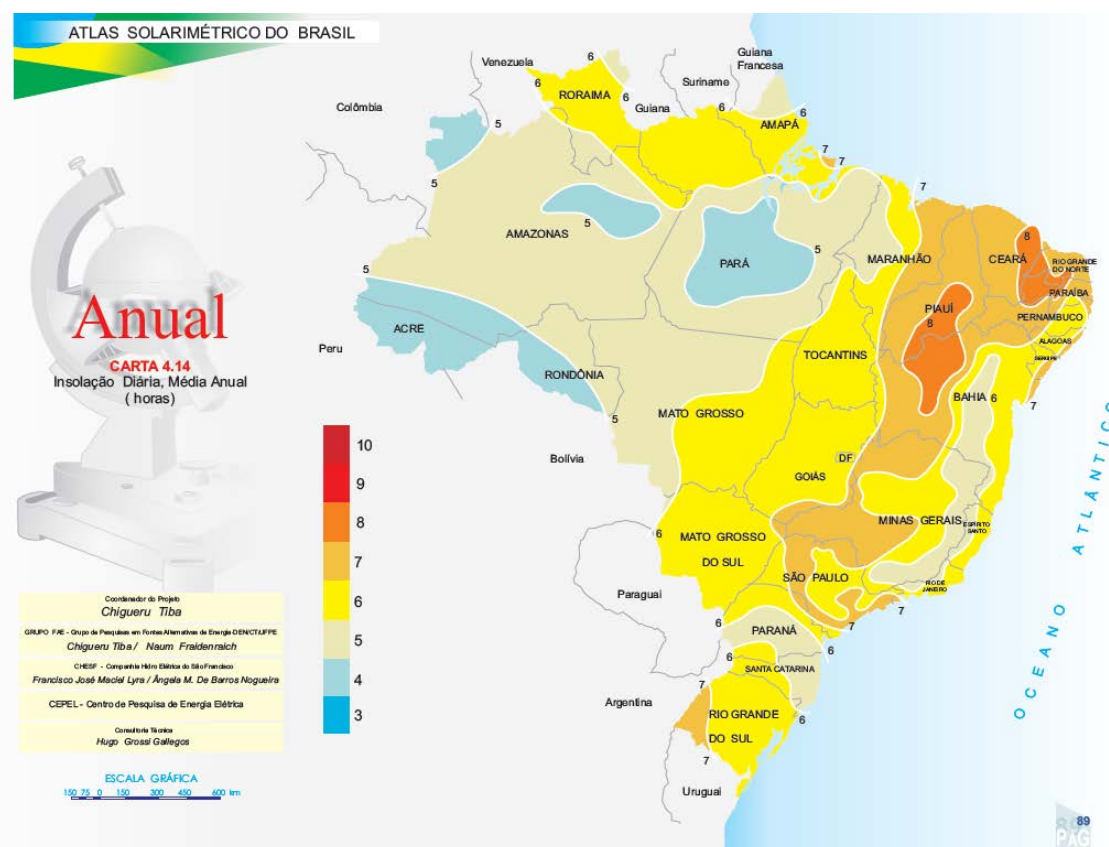
Quanto à incidência de irradiação solar, segundo o levantamento do potencial solar do estado de São Paulo feito pela secretaria de Energia do Estado de São Paulo tem-se os dados conforme ilustrado pelas Figuras 4 e 5:

Figura 4 – Média anual de radiação solar diária



Fonte: SÃO PAULO (2007)

Figura 5 – Média anual de insolação diária em horas



Fonte: SÃO PAULO (2007)

4.2. Orçamentos

Para as devidas comparações em relação aos valores monetários dos materiais a serem substituídos, foram feitos levantamentos de custos, nas lojas HS Materiais localizado em Santo Antônio do Pinhal-SP e na loja Trabiju Materiais de Construção, localizado em Tremembé – SP. Assim também foram levadas em consideração as tarifas de energia elétrica fornecida pela companhia ELEKTRO (tabela 4) e de água pela SABESP (tabela 2).

Também se requisitou um orçamento on-line com a empresa Heliotek BOSH, para os modelos de aquecedores solares ideais ao caso estudado.

4.2.1. Calha simples e Calha com captação

Da calha a ser substituída (Figura 7) teremos um acréscimo de materiais para a opção sustentável. Para encontrar um valor médio pesquisou-se em 2 lojas da região de Santo Antônio do Pinhal os preços referente à calha feita de PVC (100mm) redonda, tubulação de

PVC (75mm) e 2 válvulas de controle. Para a cisterna e o filtro foi realizada uma pesquisa online nas lojas Leroy Merlin e C&C,

Para este trabalho não será considerado o fator de qualidade da água captada pelo sistema uma vez que esta tem o objetivo de servir apenas com a finalidade de serviço (não potável).

Referente a manutenção considerou-se que ambas terão a mesma quantidade demandadas de horas e materiais utilizados. Porém será nesse critério que entrará a redução no consumo de 3m^3 mensalmente de água potável.

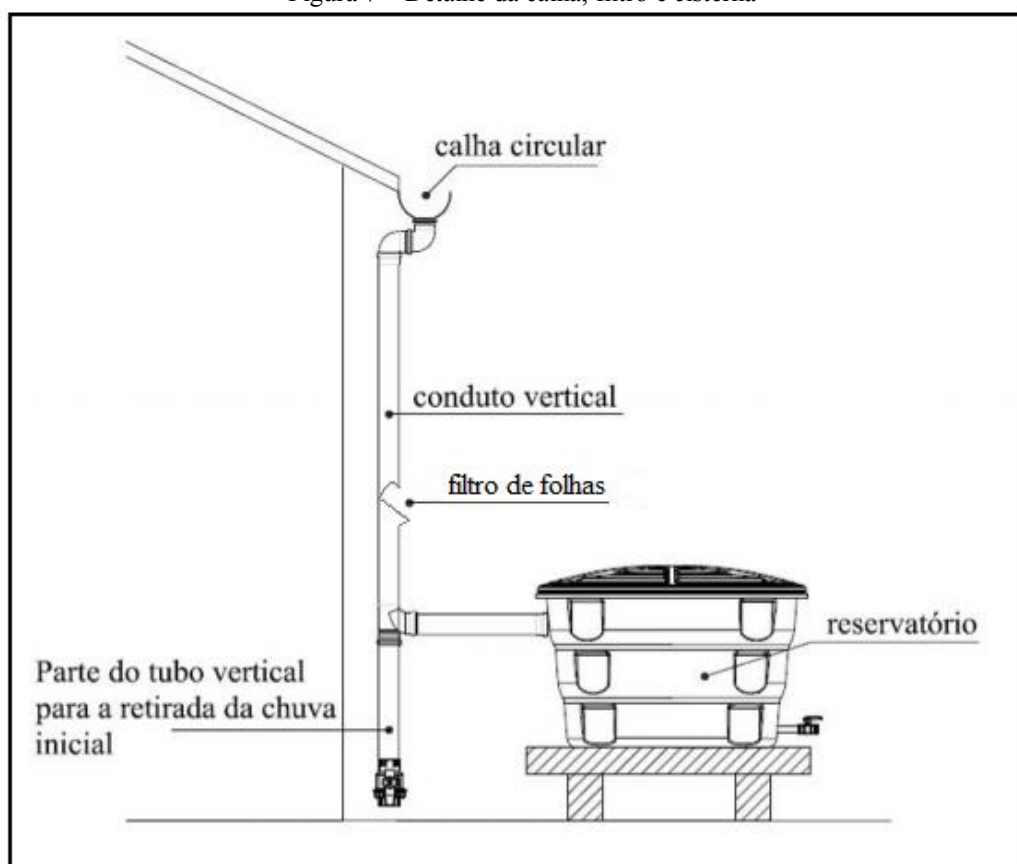
A cisterna utilizada foi um tambor de 90 litros disposta elevada conforme as figura 6 ilustra. Esta medida tem como intenção utilizar a gravidade, para fazer com que seja possível retirar a água desta sem o auxílio de um sistema de bombeamento reduzindo assim o custo de implantação e o consumo de energia elétrica.

Figura 6 – Barril de 90 litros¹



¹ Imagem disponível em: < <http://tamborbombonas.blogspot.com.br/> > Acesso em: 04 jun. 2015.

Figura 7 – Detalhe da calha, filtro e cisterna



Fonte: Jabur (2011)

Esse sistema de captação conta ainda com um macro filtro de folhas e resíduos grandes conforme ilustra a Figura 8, que será instalado na tubulação antes de chegar ao reservatório, este tem grande importância para diminuir a manutenção do sistema contra entupimentos, mas não viabiliza a potabilidade desta água.

Figura 8 – Detalhes do macro filtro



Fonte: Urbano (2015)

Por final, um tubo vertical com uma válvula de EPS interna é colocado junto ao sistema para eliminar a primeira chuva como forma de manter uma água um pouco mais limpa na cisterna. A válvula de isopor faz com que, quando a água da primeira chuva encha o tubo esta bola de isopor vai tampar a passagem deste, direcionando assim a água para a cisterna (Figura 7).

4.2.2. Concreto e Drenos

Neste trabalho uma das alternativas sustentáveis estudadas, foi a substituição de 20m² de concreto que seria aplicado na área destinada ao estacionamento de um veículo, e da área de lazer nos fundos da casa, por um gramado e placas de pedra

Não será considerado financeiramente o preço do ralo no quintal e sua tubulação até a caixa de esgoto, que seriam necessários apenas para a opção concretada, porém levou-se em conta posteriormente quanto ao fator ambiental e estético.

A manutenção considerada para a opção concretada será relativamente menor que a grama uma vez que esta deverá ser aparada mensalmente.

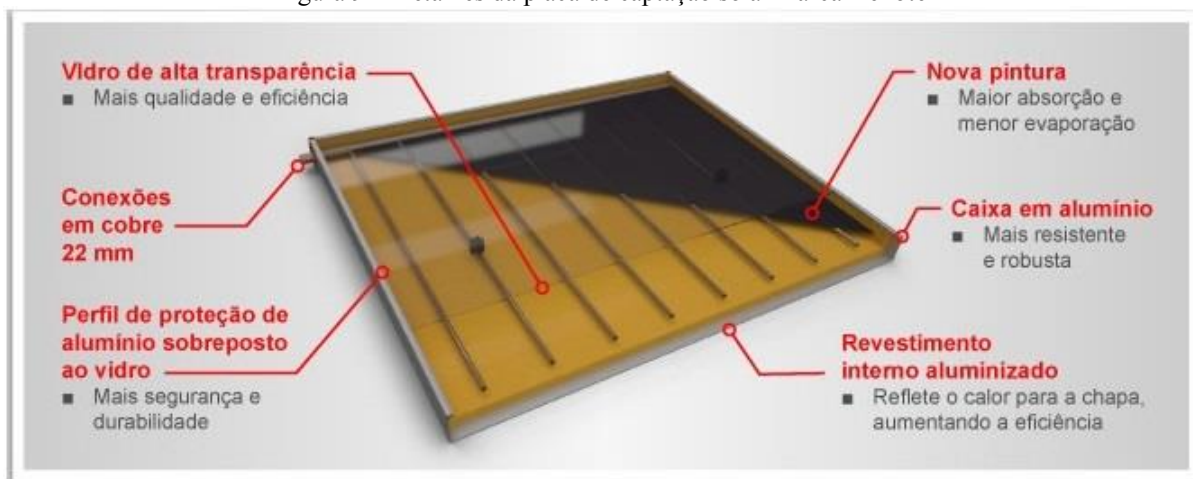
4.2.3. Chuveiro com resistor e Aquecedor solar

Como forma de comparação nestas opções, o consumo do chuveiro elétrico com resistor foi calculado por:

Chuveiro 7500w de potência: consumo médio por banho de 8 minutos = 22,6Kwh, considerando as 4 pessoas na casa teremos um consumo de 90,4Kwh diariamente, e mensalmente um consumo de 2712Kwh.

Neste trabalho, com o intuito de excluir a discussão sobre os impactos que causam a produção de células fotovoltaicas, o que seria assunto para um trabalho específico para o mesmo, foi utilizado um aquecedor de água que capta os raios solares (Figura 9), através de placas posicionadas no telhado da residência e transfere a energia térmica através de raios UV (ultravioleta) para as tubulações de cobre e estas por sua vez transferem a energia para a água.

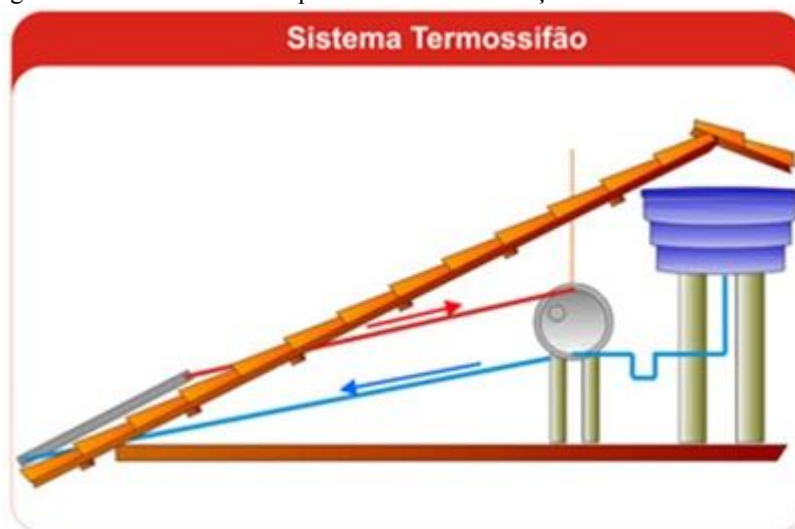
Figura 9 – Detalhes da placa de captação solar marca Heliotek



Fonte: Comunicação pessoal (2015)

Conforme pode-se ver na figura 10, a instalação do tanque reservatório pode ser feita sem a utilização de uma bomba.

Figura 10 - Corte do telhado para detalhe da instalação do reservatório



Fonte: Comunicação pessoal (2015)

Os chuveiros comparados serão uma ducha ideal para sistema de aquecimento solar e um chuveiro pressurizado com resistor 220V.

4.3. Passos de decomposição da decisão

Segundo o professor Saaty (1980), para tomar uma decisão e gerar prioridades organizadas deve-se seguir os seguintes passos da tabela 9.

Tabela 5 – Passos da decomposição de uma decisão

Etapa	Descrição
1	Definir o problema e determinar quais parâmetros são necessários.
2	Estruturar a hierarquia, com o objetivo da decisão no topo, então os objetivos por uma perspectiva ampla em níveis intermediários (critérios) e então chegando nas alternativas.
3	Construção das matrizes de comparação. Cada elemento em um nível elevado é utilizado para comparar os elementos imediatamente abaixo destes.
4	Utilizar as prioridades obtidas pelas comparações para ponderar as prioridades nos níveis imediatamente abaixo. Fazer isso para todos elementos, então para cada elemento abaixo adicionar uma ponderação e assim obterá uma prioridade geral ou global. Deve-se continuar esse processo até chegar no nível das alternativas.

Fonte: Adaptado de Saaty (2008)

4.4. Escala Fundamental de números absolutos

Para fazer comparações, precisa-se de uma escala de números que indiquem quantas vezes mais importante ou dominante um elemento é sobre o outro elemento, com respeito ao critério ou propriedade em que estes estão sendo avaliados (SAATY, 2008).

Saaty definiu para a o dimensionamento da importância entre os fatores que estes teriam valores que variariam de 1 para igual importância até 9 para o caso em que um fator tem extrema importância do que o outro, conforme apresentado na tabela 6.

Tabela 6 – Escala Fundamental de Saaty (SAATY, 2008)

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Duas atividades que contribuem igual para um objetivo
2	Fraco ou pouco	-
3	Moderada importância	Julgamento e experiência favorecem levemente uma sobre a outra
4	Moderada mais	-
5	Forte importância	Julgamento e experiência favorecem fortemente uma sobre a outra
6	Forte mais	-
7	Muito Forte importância demonstrada na prática	Julgamento e experiência favorecem muito fortemente uma sobre a outra
8	Muito, muito importante	-
9	Extrema importância	Evidencia-se a mais alta importância de uma atividade sobre a outra.
1,1 – 1,9	Caso as atividades estejam muito próximas em importância	

Fonte: Adaptado de Saaty (2008)

Utilizando-se dessa tabela podem-se classificar as alternativas e assim gerar os valores a serem inseridos na matriz.

4.5. Quantificação dos valores estéticos

Nesta etapa do projeto, a mais subjetiva até então, define-se quais opções possuem o melhor resultado quanto à sua implantação com o conjunto arquitetônico da obra, e qual apresenta melhor design quanto ao produto em si. Neste trabalho definiu-se o valor +4 para a melhor e -4 para a opção oposta; Para os produtos que apresentarem iguais valores ou incomparáveis, define-se com o valor 1.

Deve-se ressaltar que a etapa de ponderação estética é extremamente subjetiva, podendo variar de acordo com a educação arquitetônica de cada indivíduo.

4.6. Aplicação do método AHP

Conforme indicado por Saaty (2008) é necessário seguir quatro passos para uma tomada de decisão, descritos a seguir:

- Definir o problema e determinar quais parâmetros são necessários

O problema enfrentado será encontrar qual a melhor opção entre uma gama de alternativas quanto a escolha de alternativas sustentáveis e não sustentáveis.

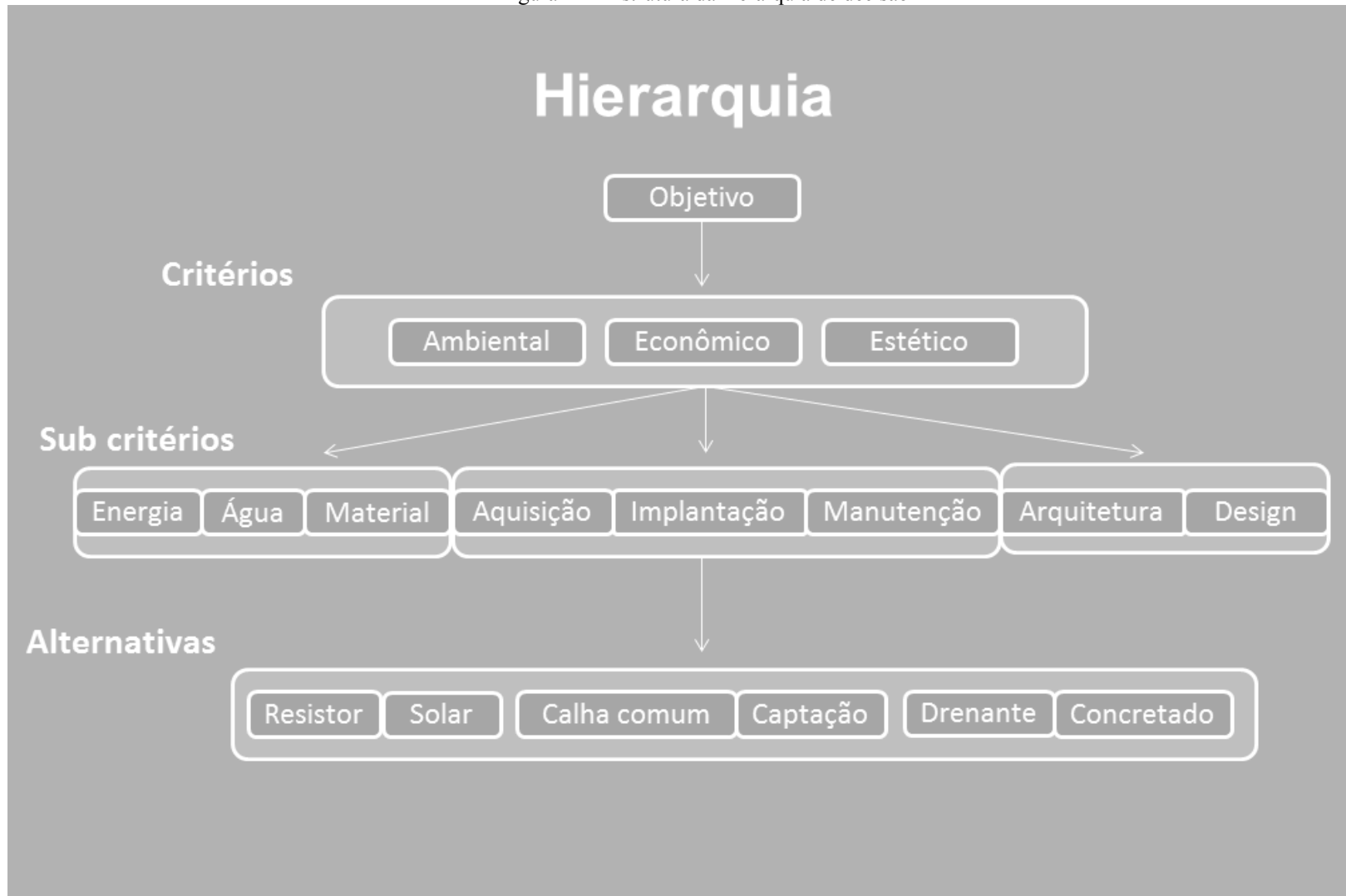
Parâmetros avaliados são os aspectos:

- Ambiental: 1. Consumo de energia. 2. Desperdício de água. 3. Material usado.
- Econômico: 1. Custo de aquisição; 2. Custo de instalação; 3. Custo de manutenção.
- Estético: 1. Conjunto arquitetura; 2. Design do produto.

- Estruturar a hierarquia de decisões

Conforme a Figura 11 pode-se observar que o objetivo (Goal) corresponde ao ponto mais alto da hierarquia, e as alternativas propostas neste estudo são as mais baixas. Entre o objetivo e as alternativas, temos os critérios de decisão e os aspectos a serem avaliados dentro de cada critério.

Figura 11 – Estrutura da hierarquia de decisão



Fonte: Elaboração própria

- Matrizes de comparação

Conforme pode ser observado na Figura 12, na linha 1 da comparação do Aspecto ambiental e Aspecto econômico, considerou-se que o aspecto ambiental é levemente mais importante que o aspecto econômico, recebendo assim o valor 2 para o lado do aspecto ambiental.

Figura 12 – Exemplo de comparação entre os três aspectos

1. Aspecto Ambient~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Aspecto Econômi~
2. Aspecto Ambient~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Aspecto Estétic~
3. Aspecto Econômi~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Aspecto Estétic~

Fonte: Elaboração própria

De forma análoga repete-se o processo entre todas as alternativas, comparando-se sempre em pares conforme exemplo de aspectos na Figura 13.

Para as comparações entre as alternativas dentro de cada subcritério, é importante ressaltar que, algumas alternativas não apresentaram um valor comparativo de importância, ou simplesmente não podem ser comparadas dentro destes. Assim é assumida nestes casos a condição binária para essas alternativas.

- Ponderação geral

Nesta etapa ponderou-se todos os elementos que constituem a matriz, de forma a obter uma classificação global das alternativas, classificaram-se os critérios, subcritérios e por fim as alternativas. Ao final dessa etapa tem-se como resultado a relação de todas alternativas entre si e seus respectivos resultados.

4.7. Tabela ponderada dos critérios

Nesta etapa, dado os três critérios, classificou-os entre si, de forma a escolher os “pesos” de cada alternativa.

Vale ressaltar que as ponderações são diretamente relacionadas com os objetivos a serem alcançados por quem deseja tomar a decisão. Podendo variar de cada pessoa e variar conforme as necessidades das mesmas.

4.8. Normalização

Na normalização dividem-se os valores de ponderação dos critérios pela soma de cada coluna, dessa forma obtém-se pela média das linhas da normalização uma Prioridade Relativa entre os critérios.

4.9. Consistência

Para avaliar a consistência das prioridades estabelecidas da Figura 13, faz-se uma matriz conforme as equações:

$$0,637 \times (1 \ 0,333 \ 0,125)^T + 0,302 \times (3 \ 1 \ 0,143)^T + 0,061 \times (8 \ 7 \ 1)^T =$$

$$= \begin{bmatrix} 0,637 + 0,907 + 0,487 \\ 0,212 + 0,302 + 0,426 \\ 0,080 + 0,043 + 0,061 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,031 \\ 0,940 \\ 0,184 \end{bmatrix}$$

Assim pode-se encontrar o Vetor Consistência (VC) através da multiplicação da matriz pela prioridade relativa

$$\mathbf{VC} = (3,188 + 3,112 + 3,016)^T$$

Estimou-se assim, a partir deste vetor o maior autovalor (λ_{max}), e o índice de consistência (IC)

$$\lambda_{max} = \frac{(3,188 + 3,112 + 3,016)}{3} = 3,105$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = 0,0525$$

Em que n é o número de critérios de decisão.

4.10. Taxa de Consistência

Para calcular a taxa de consistência (TC) será necessário seguir a fórmula:

$$TC = \frac{IC}{ACI}$$

Onde os valores de ACI podem ser retirados da tabela 7:

Tabela 7 – Referência ACI

n	3	4	5	6	7	8
ACI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41

Fonte: Adaptado de Saaty (2008)

Assim tem-se:

$$TC = \frac{0,0525}{0,58} = 0,090$$

Sabendo que para os valores das prioridades relativas serem consistentes, o valor de TC deve ser menor ou igual a 0,10. Para o caso em que TC seja menor que 0,10 é necessário que seja revisto os valores da matriz de comparação paritária. Com o valor calculado da TC = 0,090, tem-se que os valores ponderados são consistentes.

4.11. Análises Paritárias

- Subcritérios: Nesta etapa analisou-se separadamente cada subcritério dentro dos critérios em que estas podem ser comparadas.
- Alternativas: Nestas análises classificam-se todas as alternativas dentro dos subcritérios a serem avaliados. Ressaltando-se que em alguns casos, por não haver uma forma de comparação de mesmo nível, será utilizado a forma binária.

4.12. eVetor

Para a adição dos valores de ponderação entre as alternativas, deve-se fazer a normalização, e encontrar a porcentagem de cada alternativa, dentro do respectivo aspecto avaliado. Essa porcentagem é definida como o eVetor.

4.13. Adicionando os valores ao software

Com base nos valores definidos para o eVetor em cada subcritério, adiciona-se estes ao programa Super Decision conforme mostra a Figura 13:

Figura 13 – Interface do programa para inserção dos valores eVetor

2. Node comparisons with respect to Material Usado				
Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct
Aquecedor Resistência		0.899		
Aquecedor Solar		0.03507		
Calha comum		0.03507		
Captação de água		0.02405		
Concretado		0.001		
Drenante		0.00401		

This is the direct data input area.
Type in new direct data here, and/or
Click the invert box invert priorities for this
direct data.

NOTE: Any changes made in direct data take
effect immediately and overwrite
pre-existing data inputted in the
other modes.

Fonte: Elaboração própria

No exemplo acima se adicionou os valores do eVetor da tabela de materiais usado e para os respectivos campos no programa Super Decision. Assim repetiu-se o procedimento para todos os subcritérios.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Orçamentos

Após a conclusão dos orçamentos, tabelaram-se todos os valores das respectivas alternativas estudadas de forma a encontrar um valor monetário final para comparação.

5.1.1. Calhas

A tabela 8 ilustra os valores dos materiais para os dois tipos de calha orçados.

Tabela 8 – Orçamento materiais da calha.

	Calha simples	Calha coletora
Calha de alumínio (100mm/6m)	R\$ 53,00	R\$ 53,00
Tubulação (75mm/3m)	R\$ 41,00	R\$ 60,00
Cisterna (90l)	-	R\$ 200,00
Filtro	-	R\$ 55,00
Válvula	-	R\$ 36,00
TOTAL	R\$ 94,00	R\$ 404,00

Fonte: Elaboração própria

Para os preços de instalação da calha adotou-se o preço cobrado pelo encanador de R\$14,50 por metro instalado, estimou-se que a variação final do orçamento da calha simples para a calha coletora será de R\$50,00 referente aos trabalhos extras de instalação da cisterna e das válvulas. Na tabela 9 encontram-se os valores cobrados pela empreiteira da loja onde foi orçado os materiais.

Tabela 9 – Orçamento mão de obra.

	Calha simples	Calha coletora
Calha de alumínio (100mm/6m)	R\$ 87,00	R\$ 87,00
Tubulação (75mm/3m)	R\$ 43,50	R\$ 43,50
Cisterna (90l)	-	R\$ 50,00
Filtro	-	
Válvula	-	
TOTAL	R\$ 130,50	R\$ 180,50

Fonte: Elaboração própria

5.1.2. Concreto e grama

As dimensões dos blocos concregrama são de 08x40x40cm e seu preço unitário é em média de R\$7,00. Estes podem ser aplicados sem uma mão de obra especializada, assentando diretamente sobre a terra.

O Preço por metro quadrado da grama foi cotado em R\$7,00. Também poderá ser aplicada pelos serventes na obra.

Tabela 10 – Orçamento materiais concreto/dreno

Materiais	Concretado	Drenante
Concreto magro(1m³)	R\$ 350,00	-
Betoneira 240kg	R\$ 90,00	-
Blocos pré-moldados	-	R\$ 140,00
Grama	-	R\$ 112,00
TOTAL	R\$ 440,00	R\$ 252,00

Fonte: Elaboração própria

A mão-de-obra foi orçada em R\$400,00 para o concretado, já para o com dreno R\$200,00 devido à facilidade do serviço.

5.1.3. Resistor e Solar

Para comparação de preços de aquisição orçou-se um chuveiro com resistor 7500W/220V por R\$207,00 e uma ducha para instalações de aquecedor solar orçada por R\$120,00.

O preço dos materiais que compõem o sistema de captação de energia solar, segundo a empresa orçada é de R\$4320,52 (tabela 11).

Tabela 11 – Custo dos materiais sistema resistor e sistema solar

	Resistor	Solar
chuveiros	R\$ 207,00	R\$ 120,00
Sistema	-	R\$ 4320,52
TOTAL	R\$ 207,00	R\$ 4440,52

Fonte: Elaboração própria

Para a mão-de-obra considerou-se apenas o gasto para a instalação do sistema de aquecimento solar, uma vez que este usará as mesma tubulação do sistema à resistor. Segundo o orçamento pela empresa Heliotek BOSH, para esse serviço sairia por R\$1260,00.

Com relação à manutenção, a empresa Heliotek informou que anualmente é feita uma limpeza das placas solares receptoras, e para a região de Santo Antônio do Pinhal esse serviço é de R\$350,00.

5.2. Análise paritária dos subcritérios

5.2.1. Aspecto Ambiental

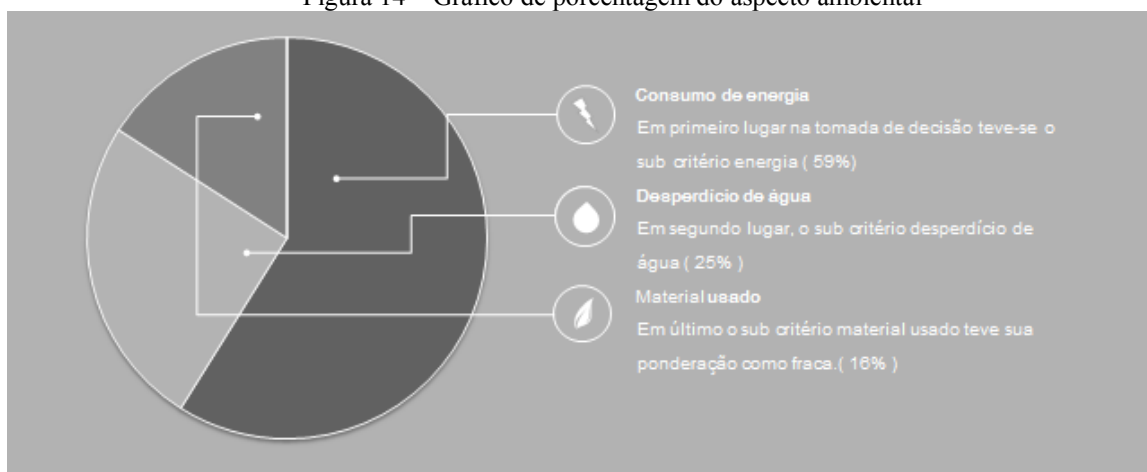
Foi adotado que dentro do aspecto ambiental, o consumo de energia é moderadamente mais importante (3) que o desperdício de água e que a quantidade de material usado. Entre o material usado e o desperdício de água teve que o desperdício é pouco mais importante que o material usado, assim como se notou na tabela 12 e Figura 14.

Tabela 12 – Comparação entre o subcritério Ambiental

Aspecto Ambiental	Consumo de energia	Desperdício de água	Material Usado
Consumo de energia	1	3	3
Desperdício de água	0,333	1	2
Material Usado	0,333	0,5	1

Fonte: Elaboração própria

Figura 14 – Gráfico de porcentagem do aspecto ambiental



Fonte: Elaboração própria

5.2.2. Aspecto Econômico

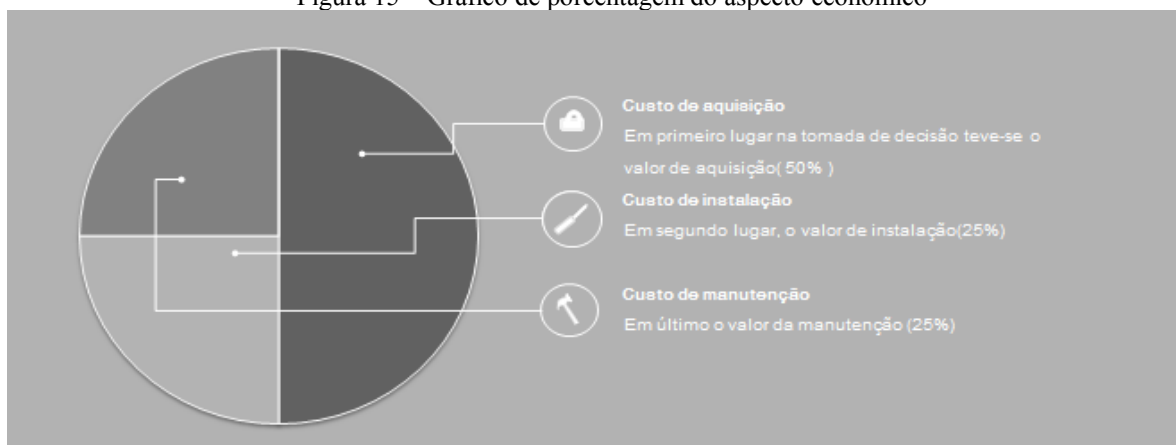
Conforme a tabela 13 e Figura 15 adotou-se que dentro do aspecto econômico, o custo de aquisição é de pouca importância em relação ao custo de implantação e o custo de manutenção, já para o custo de implantação e manutenção, considerou-se de igual importância.

Tabela 13 – Comparação entre o subcritério econômico

Aspecto Econômico	Custo de aquisição	Custo de implantação	Custo de manutenção
Custo de aquisição	1	2	2
Custo de implantação	0,500	1	1
Custo de manutenção	0,500	1	1

Fonte: Elaboração própria

Figura 15 – Gráfico de porcentagem do aspecto econômico



Fonte: Elaboração própria

5.2.3. Aspecto Estético

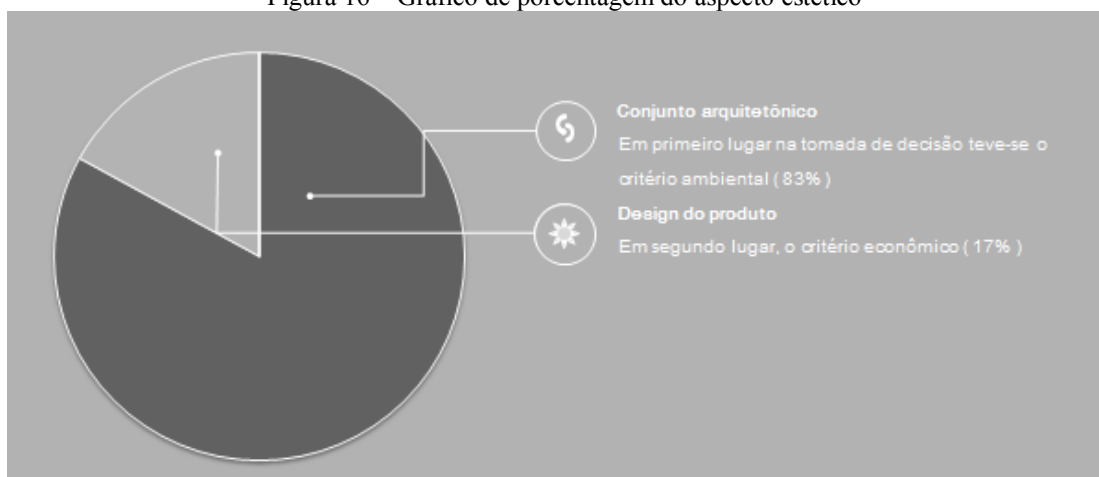
Para análise dentro do Aspecto estético considerou-se conforme a tabela 14 e a Figura 16, que o Conjunto Arquitetura é de forte importância (5) quando comparado com o design do produto.

Tabela 14 – Comparação entre o subcritério Estético

Aspecto Estético	Conjunto Arquitetura	Design do Produto
Conjunto Arquitetura	1	5
Design do Produto	0,200	1

Fonte: Elaboração própria

Figura 16 – Gráfico de porcentagem do aspecto estético



Fonte: Elaboração própria

5.3. Análise paritária das alternativas

5.3.1. Consumo de energia

Nesta comparação analisaram-se as alternativas que apresentam variações quanto ao consumo de energia e as alternativas que não apresentam foram definidas por meio binário. Conforme ilustra a tabela 15

Tabela 15 – Desempenho das alternativas quanto ao consumo de água

CE	AR	AS	CC	CA	D	C	Autovetor	eVetor
Aquecedor Resistência	1	0,125	9	9	9	9	3,829	0,269
Aquecedor Solar	8	1	9	9	9	9	8,790	0,616
Calha Comum	0,111	0,111	1	1	1	1	0,415	0,029
Captação de água	0,111	0,111	1	1	1	1	0,415	0,029
Drenante	0,111	0,111	1	1	1	1	0,415	0,029
Concretado	0,111	0,111	1	1	1	1	0,415	0,029

Fonte: Elaboração própria

5.3.2. Desperdício de Água

Semelhantes aos das tabelas 12, 13 e 14, ponderadas entre si as alternativas com respeito ao subcritério, e as alternativas que não apresentam variação foram definidas por meio binário na tabela 16.

Tabela 16 – Desempenho das alternativas quanto ao desperdício de água

DA	AR	AS	CC	CA	D	C	Autovetor	eVetor
Aquecedor Resistência	1	1	0,111	0,111	1	1	0,415	0,029
Aquecedor Solar	1	1	0,111	0,111	1	1	0,415	0,029
Calha Comum	9	9	1	0,143	9	9	3,931	0,303
Captação de água	9	9	7	1	9	9	8,559	0,605
Drenante	1	1	0,111	0,111	1	1	0,415	0,029
Concretado	1	1	0,111	0,111	1	1	0,415	0,029

Fonte: Elaboração própria

5.3.3. Material usado

Com relação ao subcritério de Material usado, considerou-se a quantidade de material/matéria prima utilizada no todo o processo em quilos de cada alternativa, e como forma de avaliação, as alternativas com menor uso de materiais são as com os melhores desempenhos na matriz, conforme ilustrado pela tabela 17.

Tabela 17 – Desempenho das alternativas quanto à quantidade de material usado

MU	Kg	Harmonização	eVetor
Aquecedor Resistência	2kg	938,50	0,899
Aquecedor Solar	50kg	37,54	0,035
Calha Comum	50kg	37,54	0,035
Captação de água	75kg	25,03	0,024
Drenante	500kg	3,75	0,004
Concretado	1200kg	1,56	0,001
SOMA	1876kg	1043,92	1

Fonte: Elaboração própria

5.3.4. Custo de aquisição

Para o cálculo do desempenho das alternativas em relação ao Custo de aquisição (Caq) tem-se que o maior desempenho se dá para a alternativa com o menor valor monetário, conforme ilustrado na tabela 18.

Tabela 18 – Desempenho das alternativas quanto ao custo de aquisição

Caq	R\$	Harmonização	eVetor
Aquecedor Resistência	207,00	28,200	0,198
Aquecedor Solar	4440,52	1,315	0,009
Calha Comum	94,00	62,101	0,436
Captação de água	404,00	14,449	0,101
Drenante	440,00	13,267	0,093
Concretado	252,00	23,165	0,162
SOMA	5837,52	142,498	1

Fonte: Elaboração própria

5.3.5. Custo de implantação

Para o cálculo do desempenho das alternativas em relação ao Custo de implantação (CI) tem-se que o maior desempenho se dá para a alternativa com o menor valor monetário, conforme ilustrado na tabela 19.

Tabela 19 – Desempenho das alternativas quanto ao Custo de implantação

CI	R\$	Harmonização	eVetor
Aquecedor Resistência	10,00	218,1	0,823
Aquecedor Solar	1260,00	1,731	0,006
Calha Comum	130,50	16,713	0,063
Captação de água	180,50	12,083	0,045
Drenante	200,00	10,905	0,041
Concretado	400,00	5,452	0,020
SOMA	2181,00	264,984	1

Fonte: Elaboração própria

5.3.6. Custo de manutenção

Neste subcritério, como não se pode calcular um valor nulo foi estimado para as alternativas que apresentam baixo ou quase nulo um valor piso de R\$15,00 de manutenção.

Tabela 20 – Desempenho das alternativas quanto ao Custo de Manutenção

CM	R\$	Autovetor	eVetor
Aquecedor Resistência	15,00	38,667	0,358
Aquecedor Solar	350,00	1,657	0,015
Calha Comum	50,00	11,600	0,107
Captação de água	50,00	11,600	0,107
Drenante	100,00	5,800	0,054
Concretado	15,00	38,667	0,358
SOMA	580,00	107,990	1

Fonte: Elaboração própria

5.3.7. Conjunto arquitetura

Ponderou-se o desempenho do Conjunto Arquitetura, de forma binária. Porém nesta harmonização as maiores notas, ou seja, aquelas alternativas com melhor desempenho deverão ser consideradas com um valor eVetor mais alto, assim se faz a harmonização dividindo o valor de cada alternativa pela soma (Tabela 21).

Tabela 21 – Desempenho das alternativas quanto ao Conjunto Arquitetura.

Car	Nota	Harmonização	eVetor
Aquecedor Resistência	9	0,329	0,329
Aquecedor Solar	0,111	246,243	0,004
Calha Comum	9	0,329	0,329
Captação de água	0,111	246,243	0,004
Drenante	9	0,329	0,329
Concretado	0,111	0,004	0,004
SOMA	27,333	1	1

Fonte: Elaboração própria

5.3.8. Design do produto

Semelhante ao Conjunto arquitetura, para o critério Design do produto, utilizou-se a forma binária, conforme a tabela 22.

Tabela 22 – Desempenho das alternativas quanto ao Design do produto

DP	Nota	Harmonização	eVetor
Aquecedor Resistência	0,111	0,005	0,005
Aquecedor Solar	9	0,445	0,445
Calha Comum	9	0,445	0,445
Captação de água	0,111	0,005	0,005
Drenante	1	0,049	0,049
Concretado	1	0,049	0,049
SOMA	20,222	1	1

Fonte: Elaboração própria

5.4. Quantificação dos valores estéticos

5.4.1. Calha x Sistema de captação

Ponderou-se na tabela 23 a diferença quanto a valores estéticos da escolha pela calha ao sistema de captação de águas pluviais.

Tabela 23 – Comparação estética Calha x Sistema de Captação

	Calha	Sistema de captação
Conjunto Arquitetônico	+4	-4
Design do produto	+4	-4

Fonte: Elaboração própria

5.4.2. Concretado x Grama e drenos

Ponderou-se na tabela 24 a diferença quanto a valores estéticos da escolha pelo quintal concretado e a com drenos e gramas.

Tabela 24 – Comparação estética Concretado x Drenos

	Concretado	Drenos
Conjunto Arquitetônico	-4	+4
Design do produto	1	1

Fonte: Elaboração própria

5.4.3. Chuveiro resistor x Aquecedor solar

Ponderou-se na tabela 25 a diferença quanto a valores estéticos da escolha pelo chuveiro resistor e o sistema de aquecimento solar com toda sua aparelhagem que em projeto fica exposto no telhado da residência.

Tabela 25 – Comparação estética Chuveiro resistor x Aquecedor solar

	Chuveiro resistor	Aquecedor solar
Conjunto Arquitetônico	+4	-4
Design do produto	-4	+4

Fonte: Elaboração própria

5.5. Tabela Ponderada dos Critérios

Na tabela 26 são apresentados os critérios que representaram maior importância para a obra proposta. Escolheram-se assim as seguintes ponderações:

Tabela 26 – Ponderação dos critérios

Critérios	Ambiental	Econômico	Estético
Ambiental	1	3	8
Econômico	0,333	1	7
Estético	0,125	0,143	1
TOTAL	1,458	4,143	16

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na tabela 26 considerou-se o critério ambiental como moderadamente preferível - 3 na Escala Fundamental de Saaty (2008) - quando comparado com o critério econômico e de muito fortemente preferível (8) quando comparado com o critério estético. O critério econômico quando comparado com o estético ficou como fortemente preferível (7) para o econômico.

5.6. Normalização

Na tabela 27 após a normalização dos critérios tem-se que o ambiental se destaca como o mais importante ou com a maior prioridade entre os critérios avaliados, conforme é o objetivo deste trabalho.

Tabela 27 – Normalização dos critérios

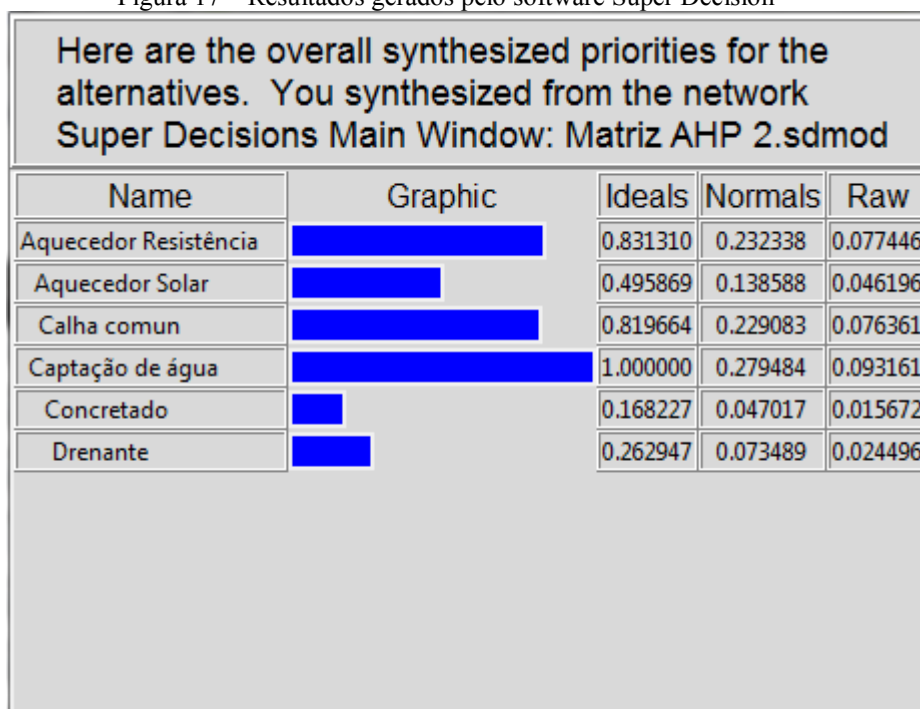
Crítérios	Ambiental	Econômico	Estético	Prioridade
Ambiental	0,686	0,724	0,500	0,637
Econômico	0,229	0,241	0,438	0,302
Estético	0,086	0,034	0,063	0,061
Totais	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: Elaboração própria

5.7. Ilustração dos resultados

Adicionados os valores calculados do eVetor referente à cada alternativa, dos respectivos subcritérios no programa Super Decision este se encarregara de organizar as informações, conforme pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Resultados gerados pelo software Super Decision



Fonte: Elaboração própria

Com os dados analisados pelo programa Super Decision, este nos fornece um gráfico de barras com as prioridades geradas pelas matrizes do método AHP, conforme ilustra a Figura 17, é de fácil análise e comparação entre as alternativas. Nota-se por meio desse que com as ponderações dos critérios e subcritérios, as opções definidas como ideais para o objetivo seria a escolha de Aquecedor Resistência, Captação de água e o Sistema Drenante.

5.8. Manipulação da Matriz

De grande ou principal importância na escolha do método AHP para analisar um leque de opções ou alternativas, tem-se que os resultados gerados por um conjunto de ponderações dos critérios e subcritérios, quando impossível ou inviável para a execução do projeto, permite-se que retorne às etapas de ponderação dos critérios e ajuste os valores de forma a encontrar um equilíbrio entre o possível e o desejado.

Dessa mesma forma, no caso estudado por Jianfeng Xi et al.(2016), após analisar os fatores ilustrados pelo método como as principais causas de acidentes nas estradas de Pequim, alternando-se a ponderação dada, diminuindo-se a influência da idade do motorista, o ranking de causa de acidente muda do fator motorista para o fator condições da pista. Desta forma

pode-se notar que o método serve como uma ferramenta muito poderosa para a análise feita por um gerente de uma seguradora, por exemplo.

5.9. Comparativos

Tendo por base os trabalhos publicados até a então data, com a utilização do método AHP, notou-se que este trabalho equipara-se quanto à eficiência em mostrar para o leitor, que as opções escolhidas foram devidamente analisadas entre todas as outras dentro dos critérios avaliados e ponderados, por exemplo, o estudo feito por Po-Lin Lai et al.(2015) aplicado em 24 aeroportos internacionais, analisou estes em quatro critérios: capacidade de passageiros, finanças, performance de serviços e performance financeira e dentro destas seus respectivos 10 subcritérios.

Afirmou este que o uso do método AHP visava uma listagem da eficiência dos aeroportos que possui milhares de comparações simultâneas, que demandariam muito tempo para serem feitas. Também informou Po-Lin Lai et al.(2015) que quando aplicadas as ponderações matemáticas provenientes de cálculos e dados concretos em muito se diferenciava os resultados daqueles obtidos quando as ponderações eram a partir das perspectivas dos usuários.

Este trabalho é um incentivo para que os profissionais diretamente ligados à área ambiental sejam eles agrônomos, arquitetos e engenheiros estejam providos de um método que seja capaz de fazer análises muito mais precisas e concretas do que as análises feitas pela intuição.

De forma semelhante ao trabalho de identificação de zonas de agricultura orgânica feito por Mishra(2015) afirmando em sua conclusão que para uma análise mais aprofundada e uma decisão mais precisa é fundamental que se aplique o método AHP cada vez a critérios mais específicos e se estude a fundo as ponderações que estão sendo escolhidas, temos que para uma melhor performance das seleções entre opções sustentáveis para o projeto estudado, uma forma de obter resultados mais precisos, seria encarregando as etapas de ponderações para especialistas nas áreas em que os subcritérios estão sendo avaliados.

6. CONCLUSÕES

O método AHP mostrou-se eficiente e aplicável na tomada de decisão no setor da engenharia civil. Os resultados apresentaram de forma clara que para a redução dos impactos ambientais, levando em consideração critério ambiental, econômico e estético, nessa ordem classificadas, apenas 2 alternativas “ecologicamente corretas” seriam recomendadas e uma alternativa tradicional deveria ser mantida.

A substituição do sistema de calha simples ao sistema com filtro e armazenamento foi indicada pelo método AHP, como de esperado, seu baixo custo de instalação e o aproveitamento do sistema tradicional, fornece uma opção de rápida visualização dos benefícios de sua implantação.

A substituição do concreto por um sistema drenante, na área da garagem e do quintal foi a que apresentou um resultado pelo AHP com a menor discrepância, isto porque no critério ambiental, classificou-se apenas uma relação quanto ao material usado, ficando a maior diferença nos critérios econômicos e estéticos que no nosso estudo receberam uma ponderação menor do que o ambiental. Mesmo assim, a solução para o uso da grama que é o sistema ecologicamente correto, foi selecionada como melhor opção.

A substituição do aquecedor à resistência elétrica pelo sistema de aquecimento solar foi fortemente rejeitada pelo método AHP, mesmo esta sendo classificada no critério de economia de energia como “muito importante”, o grande custo de aquisição, implantação e manutenção foi um fator de grande influência nessa decisão,

Assim conclui-se que a alternativa que o método apresentou como não sendo de melhor escolha (energia solar), para sua implantação, seria necessário um grande estudo aprofundado para verificação dos benefícios ao construtor, uma vez que este trabalho tomou como prioridade o critério ambiental sobre o econômico, seria de se esperar que todas soluções de menor impacto ambiental fossem selecionadas, porem dado as grandes disparidades em relação ao custo da instalação do sistema de aquecimento solar de água ao método tradicional de chuveiro resistor, o método só escolheria esta alternativa caso nas etapas de ponderação das importâncias entre econômico, estético e ambiental, o fator ambiental deveria estar com uma ponderação maior do que a dada neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR15569**: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2008
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR15527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Rio de Janeiro 2007
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR12217**: Projeto de reservatórios de distribuição de água para abastecer o público. Rio de Janeiro, 1994.
- BOFF, L.. **Sustentabilidade: o que é – o que não é**. Petrópolis: Ed. Vozes, 200 p. 2012
- BRITISH PETROLEUM. **BP Energy Outlook 2016 edition**. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf>> Acesso em: 17 jun. 2016.
- CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PL 7818/2014**. 2014, Geraldo Resende PMDB/MS. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=620487>> Acesso em: 18 jun. 2016.
- CHIGUERU, Tiba. et al. **Atlas solarimétrico do Brasil – banco de dados solarimétricos**. Ed. Universitária da UFPE, 2000, 111p Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/> > Acesso em: 04 ago. 2015.
- ELEKTRO. **Informativo de tarifas e variações de cobranças do ano de 2015**. Disponível em: < <http://www.elektro.com.br/> > Acesso em: 07 ago. 2015.
- FANTINATTI, P.; FERRÃO, A.; ZUFFO, A. **Indicadores de sustentabilidade em engenharia: como desenvolver**. Ed. Elsevier. Rio de Janeiro 2015.
- FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. **Manual de utilização das águas pluviais: 100 maneiras práticas**. Curitiba, PR: Chain, 2002.
- JABUR, A. S.; BENETTI, H. P.; SILIPRANDI, E. M. Aproveitamento da água não pluvial para fins não potáveis. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro:UFF, 2011. Disponível em: < http://www.inovarse.org/sites/default/files/T11_0353_2014.pdf > Acesso em: 06 ago. 2015
- MISHRA, A. K.; DEEP, S.; CHOUDHARY, A.. **Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS**. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 14 Julho 2015.
- PO-LIN, L. et al.. **Evaluating the efficiency performance of airports using an integrated AHP/DEA-AR technique**. Elsevier Ltd. Maio 2015.
- ROGERS, E.; KOSTIGER, T. M.. **O livro verde, The Green Book**. Rio de Janeiro: Sextante, 2009.

SAATY, T. L.. **The Analytic Hierarchy Process**, New York: Mc Graw Hill. 1980.

SAATY, T. L.. **Decision making with the analytic hierarchy process**. International Journal Services Sciences. 2008.

SABESP. **Tabela de tarifas do consumo de água no estado de São Paulo**. Disponível em: < <http://site.sabesp.com.br/>> Acesso em 07 ago. 2015.

SÃO PAULO (Estado). **Levantamento do potencial solar do estado de SP**. 2007, 28p Disponível em: < <http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/atlas-solar>> Acesso em: 04 ago. 2015.

SILVA, C.. **Cisterna: estimativa de preços**. Disponível em:< <http://tamborbombonas.blogspot.com.br/> > Acesso em: 07 ago. 2015.

SINDUSCONSP. **Resíduos da construção civil: e o estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/2012/09/residuos_construcao_civil_sp.pdf> Acesso em: 20 jun. 2016.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração de escoamento superficial**. 2002. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

UMADEVI, K.; ELANGO, C.; RAJESH, R.. Vendor selection using AHP In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELING OPTIMIZATION AND COMPUTING,. 2012 . **Proceedings...** Kumarakoil: Elsevier 2012.

URBANO, E. **Sempre sustentável - Cisternas de baixo custo**. Sustentabilidade. São Paulo. Disponível em: < <http://www.sempresustentavel.com.br/>> Acesso em 07 ago. 2015.

XI, J.; ZHAO, Z.; LI, W.; WANG, Q.. **A Traffic Accident Causation Analysis Method Based on AHP-Apriori**. Procedia Engineering. Elsevier, 2016.