

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROARQ - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA
MESTRADO EM CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

COBERTURAS NATURADAS E QUALIDADE AMBIENTAL: UMA
CONTRIBUIÇÃO EM CLIMA TROPICAL ÚMIDO

MARCO ANTONIO MILAZZO DE ALMEIDA

ORIENTADORA:
DRA. CLAUDIA BARROSO KRAUSE

Rio de Janeiro, 06 de agosto de 2008

“Coberturas Naturadas e Qualidade Ambiental: Uma Contribuição em Clima Tropical Úmido”

MARCO ANTONIO MILAZZO DE ALMEIDA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, área de concentração em Conforto Ambiental e Eficiência Energética.

ORIENTADORA: CLAUDIA BARROSO
KRAUSE, DOUTORA

Rio de Janeiro, 06 de agosto de 2008

“Coberturas Naturadas e Qualidade Ambiental: Uma Contribuição
em Clima Tropical Úmido”

MARCO ANTONIO MILAZZO DE ALMEIDA

Orientador(es)

Profa. Claudia Barroso Krause D. Sc.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, área de concentração em Conforto Ambiental e Eficiência Energética.

Aprovada por:

Profa. Claudia Barroso Krause D. Sc. (Orientadora)

Prof. Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos D. Sc.

Profa. Louise Land Bittencourt Lomardo D. Sc.

Rio de Janeiro, 06 de agosto de 2008

Almeida, Marco Antonio Milazzo

Coberturas Naturadas e Qualidade Ambiental: Uma Contribuição em Clima Tropical Úmido / Marco Antonio Milazzo de Almeida - Rio de Janeiro: UFRJ / FAU / PROARQ, 2008.

viii, 151 f. il., 20mm;

Orientadora: Claudia Barroso Krause

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, PROARQ, 2009.

Referências Bibliográficas: f. 94-100.

1. Eficiência Energética. 2. Desenvolvimento Sustentável.
3. Coberturas Naturadas I. Barroso-krause, Cláudia. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura. III. Título

RESUMO

“Coberturas Naturadas e Qualidade Ambiental: Uma Contribuição em Clima Tropical Úmido”

MARCO ANTONIO MILAZZO DE ALMEIDA

Orientadora: Profa. Claudia Barroso Krause D. Sc.

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a importância potencial das coberturas naturadas no âmbito da sustentabilidade, eficiência energética e conforto ambiental nas edificações, em centros urbanos com clima tropical úmido.

Inicialmente, algumas ocorrências históricas das coberturas naturadas são apresentadas através de uma revisão junto a registros obtidos desde a arquitetura vernacular, à arquitetura contemporânea.

No segundo capítulo são apresentados dados das características técnicas e construtivas das coberturas, permitindo uma avaliação dos materiais, da vegetação e do sistema que podem ser utilizados.

O terceiro capítulo da dissertação procura analisar os atributos das coberturas naturadas, face a princípios de qualidade ambiental, utilizando a visão francesa da Alta Qualidade Ambiental, o HQE®.

Definidos os atributos e suas relevâncias dentro de cada alvo do sistema HQE®, foi possível selecionar alguns mais significativos, dentre eles, a qualidade da cobertura naturada como isolamento térmico.

A eficiência potencial deste atributo em clima tropical úmido é discutida no capítulo quatro. Foram realizadas simulações em um protótipo modelo, alternando somente o tipo de cobertura utilizada, com as condições climáticas da cidade do Rio de Janeiro. Foi escolhido o software Energy Plus 2.1, por incluir em seus algoritmos, um modelo detalhado para a utilização de coberturas naturadas.

Da análise das respostas obtidas foi observado que enquanto elemento para obtenção de conforto térmico, a cobertura naturada apresenta um excelente desempenho, tratando-se de um excelente isolante térmico, devido principalmente ao seu substrato. Entretanto, outros tipos de cobertura apresentam desempenhos bem próximos ao da cobertura naturada. Devido ao resultado das simulações, levanta-se a hipótese de uma ausência ainda do real papel do elemento vegetal na constituição das equações de balanço térmico dos simuladores atuais, notadamente no Energy Plus 2.1.

Palavras-chave: Coberturas Naturadas,

Rio de Janeiro, 06 de agosto de 2008

ABSTRACT

Green Roofs and Ambient Quality: A Humid Tropical Climate Contribution”

MARCO ANTONIO MILAZZO DE ALMEIDA

Orientadora: Profa. Claudia Barroso Krause D. Sc.

The aim of this work is to evaluate the green roofs potential influence in the scope of sustainability, energy consumption, and human comfort in buildings, in urban environments with humid tropical climate.

Initially, some green roofs occurrences are presented, from vernacular to contemporary architecture.

In the second chapter, the green roofs constructive techniques are presented, allowing an evaluation of the best practices, materials and plants that can be used.

In the third chapter, this dissertation intends to analyze the green roofs attributes, facing ambiental quality principles, using the French vision of Ambiental High Quality (HQE®).

After defining the green roofs attributes, and their influence in each HQE® target, it was possible to select the most relevant ones, amongst them, the green roofs thermal insulation capacity. This attribute potential efficiency in humid tropical climate is discussed in chapter four.

Simulations were made using one model, changing only the roof material, and using the Rio de Janeiro climate conditions. To make the simulation, It was used the software Energy Plus 2.1, because it includes detailed green roof algorithms.

The green roof presents an excellent thermal insulation performance, mainly because its substrate, but other roof materials can have almost the same thermal insulation performance. Due to the computer simulations, it could be possible, that current green roof software simulators algorithms don't considers the plants real function in thermal balance equations, like seen in Energy Plus 2.1.

Key-words: Green Roofs,

Rio de Janeiro, 06 de agosto de 2008

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO	viii
INTRODUÇÃO	1
1. HABITANDO AS COBERTURAS, UM OLHAR HISTÓRICO	3
2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E CONSTRUTIVAS DAS COBERTURAS NATURADAS 11	
2.1. SISTEMAS DE AJARDINAMENTO	12
2.2. COMPONENTES CONSTRUTIVOS	13
2.2.1 Estrutura de Suporte.....	15
2.2.2 Proteção Contra Água de Chuva.....	16
2.2.3 Drenagem	17
2.2.4 Substrato	18
2.2.5 Vegetação	19
2.3. DETALHES CONSTRUTIVOS	25
2.4. Considerações Gerais.....	28
3. PRINCIPAIS ATRIBUTOS AMBIENTAIS DAS COBERTURAS NATURADAS: A ABORDAGEM HQE®	29
3.1 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO DE ELEVADO DESEMPENHO AMBIENTAL	30
3.2. Relações Harmoniosas das Edificações com o Entorno Imediato – Alvo 01 .	33
3.2.1. Introdução	33
3.2.2. Relações das Coberturas Naturadas e seu Entorno Imediato	33
3.3. Escolha integrada dos processos construtivos – Alvo 02.....	35
3.3.1. Introdução	35
3.3.2. O uso das coberturas naturadas na integração dos processos construtivos.....	35
3.4. Gestão de Energia – Alvo 04	38
3.4.1. Introdução	38
3.4.2. Regulação da Temperatura Externa.....	38
3.4.3. Experiências Em Clima Tropical Úmido.....	40
3.5. Gestão da Água – Alvo 05	43
3.5.1. Introdução	43
3.5.2. Diminuição do fluxo de escoamento das águas de chuvas.....	43
3.6. Gestão de Rejeitos / Sobras de Atividades - Alvo 06.....	46
3.7. Limpeza e Manutenção - Alvo 07	47
3.7.1. Introdução	47
3.7.2. A Contribuição das Coberturas Naturadas na Manutenção das Edificações	47
3.8. Conforto Higrotérmico - Alvo 08	49
3.8.1. Introdução	49
3.8.2. Isolamento Térmico	49
3.8.3. Experiências Em Clima Tropical Úmido.....	52
3.9. Conforto Acústico - Alvo 09	54
3.9.1. Introdução	54
3.9.2. A Contribuição das Coberturas Naturadas no Conforto Acústico	54
3.10. Qualidade do Ar - Alvo 13	58
3.10.1. Introdução	58
3.10.2. A Contribuição das Coberturas Naturadas na Qualidade do Ar	58
3.11. Qualidade da Água - Alvo 14.....	62
3.11.1. Introdução	62
3.11.2. A contribuição das Coberturas Naturadas na Qualidade da Água.....	62
3.12. Considerações	65
4. MODELAGEM PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO DAS COBERTURAS NATURADAS	66

4.1.	ESCOLHA DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO: O PROGRAMA ENERGY PLUS E ECOTECH.....	67
4.2.	EMBASAMENTO TEÓRICO DO ENERGYPLUS	68
4.3.	PROTÓTIPO MODELO	70
4.4.	TIPOS DE COBERTURA UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO	72
4.5.	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	75
	CONCLUSÃO	84
	BIBLIOGRAFIA	86
	ANEXOS	101
	Anexo A	101
	Anexo B	103
	Anexo C	104
	Anexo D	105
	Anexo E	107
	Anexo F	109
	Anexo G	110
	Anexo H	111
	Anexo I	112
	Anexo J	115
	Anexo K	118
	Anexo L	126
	Anexo M	140

INTRODUÇÃO

O mundo vem sofrendo graves conseqüências ambientais devido ao crescimento urbano desordenado: a massificação construtiva, a utilização de transportes individuais poluentes, a emissão de gases pelas indústrias, o desperdício dos recursos naturais, e o gasto excessivo de energia. Diversos são os fatores que estão contribuindo para o aquecimento global e conseqüentemente um futuro incerto para a humanidade.

Quando é discutido o que pode ser feito para reverter este quadro, as respostas dirigem-se principalmente para a economia dos recursos naturais e para o aumento das áreas arborizadas. A diminuição das áreas arborizadas é um dos fatores causadores do aumento do gás carbônico, o que vêm gerando uma quantidade de calor acumulado muito grande.

As plantas têm a capacidade de absorver o gás carbônico, fixar o carbono nele contido e liberar oxigênio, assim ajudando a reequilibrar os percentuais dos gases da atmosfera. Complementarmente, também reduzem o aquecimento das superfícies por utilizar parte da radiação solar incidente no seu processo de fotossíntese.

Assim, admite-se que jardins, praças ajardinadas, áreas arborizadas, parques, coberturas e fachadas ajardinadas poderiam melhorar significativamente o ambiente das grandes cidades: o ar se purificaria, diminuiriam as variações de temperatura e de umidade. Segundo Minke (2004), para tornar o clima urbano saudável, estima-se ser suficiente plantar, entre 10% a 20% de todas as superfícies edificadas da cidade. E quanto maior a quantidade de áreas verdes, maior a contribuição para a diminuição do aquecimento global.

Ainda de acordo com Minke (2004, p.9), é possível estimar que na média dos bairros centrais das grandes cidades, 1/3 da superfície é edificada, 1/3 corresponde a áreas pavimentadas e 1/3 das superfícies são verdes, sem pavimentação. Se todas as coberturas das edificações fossem plantadas, quase que duplicaria a quantidade de área verde existente.

A cobertura é participante potencial no processo de solução projetual, no entanto, na grande maioria dos casos, não é considerada como um espaço que possa ser utilizado. É apenas considerada como um aspecto formal e tipológico da concepção da edificação, ou é utilizada como área técnica. Acredita-se, que por este motivo, muitas vezes é mal projetada e planejada.

Entretanto, as coberturas são locais importantes, locais que têm grande interação com os meios externo e interno, como já entendiam os antigos construtores mesopotâmicos, tanto quanto alguns arquitetos contemporâneos.

Hoje, as chamadas "coberturas naturadas" além de influenciar no clima da cidade, promovem o isolamento térmico e acústico das edificações.

É possível citar também, dentre as contribuições à qualidade ambiental urbana, o seu funcionamento como filtro de poeiras do ar, a diminuição da velocidade do escoamento das águas pluviais, e também a filtragem dessa água, para reutilização.

A presente monografia apresenta uma revisão bibliográfica destas contribuições, e utiliza de simulações computacionais para comprovar a eficiência da cobertura naturada como isolamento térmico das coberturas.

1. HABITANDO AS COBERTURAS, UM OLHAR HISTÓRICO

"Desde os tempos mais antigos o homem quis subir nos telhados."

(Le Corbusier, 1927)

A história da ocupação das coberturas está irremediavelmente conectada à sua forma e as soluções construtivas por ela exigidas. As referências utilizadas neste capítulo procuram demonstrar, em um percurso histórico, que desde os primórdios das construções, as coberturas foram utilizadas de diversas formas, e que o uso da vegetação sobre elas tiveram diferentes significados e funções.

Segundo Cook (1997, p.127-139), a arquitetura vernacular teve seu início a partir do confronto de três aspectos: as condições climáticas, a localização e a necessidade de uso, sendo o fator mais preponderante dos três, o fator climático. No caso das coberturas, as diretrizes projetuais se baseavam diretamente na temperatura e na quantidade de chuva. Assim, em locais de pouca chuva e quentes deveriam ser utilizadas coberturas planas, enquanto em locais chuvosos e frios coberturas inclinadas, porém isto nem sempre se verifica. Entretanto, devido a fatores estéticos e funcionais, a forma da cobertura se apresenta por vezes diferente do que o requerido para atender as necessidades climáticas.

Ravérau (1981, p.128) descreve que nas casas tradicionais de adobe de Mzab, no sul do deserto da Argélia, a cobertura sempre foi utilizada, devido às necessidades do clima local, como parte importante do espaço habitado da edificação. Na sua casa tradicional, o terraço tem a mesma importância que o pátio central. A laje plana recria o mesmo ambiente protegido e privado doméstico, e ao mesmo tempo descoberto, ao ar livre, onde se pode desfrutar do sol e do vento.

Outro exemplo memorável são os Jardins Suspensos da Babilônia (Figura 1). Segundo Osmundson (1999), não há evidências arqueológicas da sua existência, mas de acordo com as informações que chegaram aos dias atuais, nas margens do Rio Eufrates, o imperador Nabucodonosor teria ordenado a construção, próximo ao seu palácio, de uma enorme construção feita de pedras, recriando uma montanha artificial. Assim ele pretendia amenizar a nostalgia de sua esposa Semiramis, nascida ao norte do país, lugar montanhoso e repleto de florestas. "Os jardins possuíam 30 metros de comprimento por 30 metros de largura, construído em terraços ascendentes, suportando o peso dos jardins...", segundo Diodorus, um dos viajantes que vinham de todo o mundo para conhecer a construção dos Jardins, "... Como as

galerias eram superpostas umas as outras, e banhadas pelo sol, possuíam muitas instâncias reais.”. Esta descrição coincide com a reconstrução gráfica criada pelo arqueólogo Robert Koldewey, e com as representações românticas do século XVII. Nos três casos, a montanha artificial seria composta de galerias reais que se sobreporiam, e em galerias prolongadas em terraços exteriores ajardinados provavelmente com enormes plantações exóticas, irrigadas por complexos sistemas hidráulicos. Os elementos que antes pertenciam ao solo – água, terra e vegetação – haviam sido transportados para a cobertura, configurando o que chamamos hoje de cobertura naturada.



Figura 1 - Ilustração dos Jardins Suspensos da Babilônia (fonte: <http://www.moorsmagazine.com/lijstebrij/zevenwereldwonderen.html> - acessado em 01/09/2007)

Segundo as pesquisas históricas feitas por Martinez (2005, p.32-36), muitos historicistas dizem que os Jardins Suspensos da Babilônia eram nada mais que um Ziggurat (Figura 2). Os Ziggurat são construções Mesopotâmicas, arqueologicamente investigadas e documentadas. Algumas delas existem até hoje. A mais preservada é a Ziggurat de Ur, construída entre 2200 e 2100 a.C., 1500 anos antes da data dada para a construção dos Jardins Suspensos, e também é uma construção de platôs, mas que ao invés de ser formada por plataformas superpostas, é formada por plataformas escalonadas, para as quatro direções cardinais. São construções monolíticas, apesar de existirem dúvidas se haviam funções localizadas em sua base.

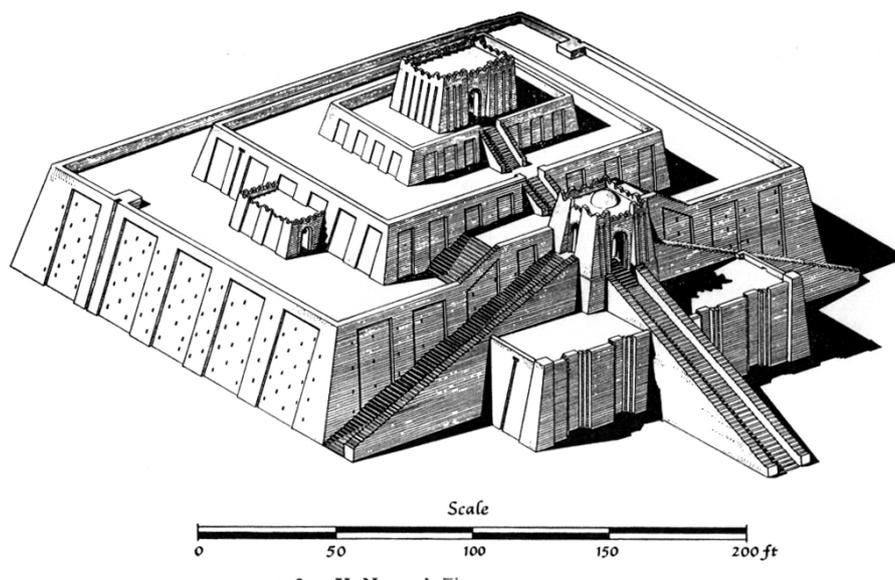


Figura 2 – Desenho de um Ziggurat

(fonte: www.specialtyinterests.net/ziggurat.html - acessado em 01/09/2007)

Os vikings empregavam nas paredes e nas coberturas de suas casas camadas de gramado para se protegerem das chuvas e dos ventos e, às vezes, usavam algas marinhas para isolar a cobertura. Também durante o Império Romano, em Pompéia, sul da Itália, era comum o plantio de plantas trepadeiras em cima de varandas. Os romanos também utilizavam árvores na cobertura de seus edifícios como observado nos mausoléus de Augusto e Adriano (Peck, 1999).

Um uso funcional das coberturas naturadas interessante depreende-se dos relatos de Osmudson (1999), de que no início do século XV teria sido construída por Cosimo de Médici uma vila, em Corrigi, na Itália, hoje abandonada e em ruínas, onde funcionava um centro médico. A estrutura da edificação foi construída na base de uma montanha, e na sua cobertura havia uma grande quantidade e variedade de plantas, muitas importadas de outros países, pois eram utilizadas como fonte para fabricação de medicamentos.

Um dos primeiros projetos formais do tema, segundo Martinez (2005), foi de Leonardo da Vinci, sobre coberturas ajardinadas no espaço urbano em 1488, descrito em um de seus manuscritos "Paris Manuscript" para a remodelização de Milão, na Itália. Da Vinci projeta vilas urbanas, onde os jardins novamente se situavam no topo das construções, sob arcos de galerias de serviço. Em um de seus desenhos, uma cobertura vegetal configura uma área de descanso, uma área introvertida. Em outros

desenhos configura ambientes residenciais e locais de passagem. Sua preocupação com a utilização das áreas das coberturas se vê ali evidente.

Já durante o período barroco, segundo Martinez (2005, p.32-36), em Lucca, na Itália, no topo da construção chamada Torre Giunigi (Figura 3), a 120 metros de altura, foram plantados grandes carvalhos, o que prejudicaria muito o principal objetivo de uma torre de observação, já que a torna muito visível a quilômetros de distância. Na verdade o construtor queria com o jardim, saciar o desejo de estar o mais alto possível, conquistar as alturas, sem perder o contato com o solo.



Figura 3 – Vista da Torre Giunigi, Lucca, Itália.

(Fonte: http://www.globosapiens.net/subapp_profiles/travel_picture.php?file_name=lucca_report_2187_0.jpg&caption=GLOBOSapiens.net&add_r=guest&add_s=&vlimit=0#undefined – acessado em 01/09/2007)

De acordo com De Lorme (1996), desde o período renascentista, tetos com vegetação eram comuns na cidade de Gênova na Itália. No período pré-colombiano, também existiam em outros países, como no México. Nos séculos XVI e XVII, a Índia e algumas cidades espanholas já tinham seus exemplos de coberturas com vegetação. A partir do século XVIII começaram a surgir em algumas cidades francesas.

Segundo Osmudson (1999), na Rússia Czarista os jardins nas coberturas significavam grande luxúria pela nobreza, sendo por este motivo utilizados em diversas edificações públicas e palácios. No século XVII foram instalados na cobertura do Palácio do Kremlin, dois níveis de jardins suspensos. Um jardim foi construído no nível dos quartos e outros dois terraços desciam em direção ao Rio Moscow.

O termo "coberturas jardins" (roof gardens) foi concebido por volta de 1893, especificamente para as áreas ajardinadas utilizadas para recreação no verão americano. Alguns teatros atuais ainda possuem em seus nomes, referência á esta época, como o "Winter Garden" e o "Madison Square Garden", ambos em Nova Iorque.

Uma das maiores invenções desta época: o elevador facilitou o acesso vertical das edificações, invertendo-se a tradicional distribuição interna da residência, onde o andar térreo era o pavimento familiar e o pavimento superior era o dos empregados. A cobertura da edificação passou a ter um novo sentido, ganhou status, transformada em espaço de descanso, e área de lazer, e os ajardinamentos passaram a ser mais comuns.

Começaram a surgir também novos materiais e técnicas construtivas, como o concreto armado, e os produtos betuminosos para impermeabilização. A primeira cobertura plana, que se têm evidências, com a utilização de um sistema de impermeabilização, para o clima do norte europeu, foi a construída pelo alemão Samuel Haüsler em 1839. A cobertura por ele projetada era feita de rolos de papel impregnados de piche protegida por uma camada de areia e cascalho. Este modelo de cobertura foi utilizado por todo o século XIX, e até mesmo hoje em dia por alguns arquitetos.

Pouco depois, em 1867, Carl Rabitz apresentou sua patente para uma cobertura plana impermeabilizada em Paris, com um protótipo construído sobre sua própria casa em Berlin, onde plantou diversas árvores.

Graças à industrialização, as superfícies impermeabilizadas passaram a ser uma realidade (Moritz, 1969), evoluindo das pesadas camadas de lonas, para as finas lâminas flexíveis de carbono e asfalto.

Na virada do século, o impacto da formação das grandes cidades e as grandes mudanças tecnológicas causaram também uma revolução de conceitos arquitetônicos. A mudança radical das edificações e também dos espaços urbanos fizeram com que vários arquitetos criassem novos conceitos de sociedade e de vida. A cidade passava a

se verticalizar, e muitos arquitetos passavam a vislumbrar a nova vida que surgia nos topos dos arranha-céus.

Nos EUA, o arquiteto Raymond Hood desenvolveu um projeto para remodelar as coberturas de todas as edificações baixas do Rockefeller Center (Figuras 4 e 5). Ele criou o termo "viewscape", quando tentava descrever o que era visto ao olhar para baixo, das grandes torres da cidade. Uma visão frustrante por haverem diversos espaços mal aproveitados esteticamente, como acontece ainda nos dias de hoje. Para amenizar este efeito, Hood projetou um grupo de jardins suspensos com uma grande cobertura verde e água, que se comunicava entre os prédios, através de pontes. O projeto não foi realizado na sua íntegra, e após a morte de Hood, o caráter de oásis urbano de "uma cidade acima da cidade", que era previsto, tornou-se simplesmente um conjunto de jardins decorativos.

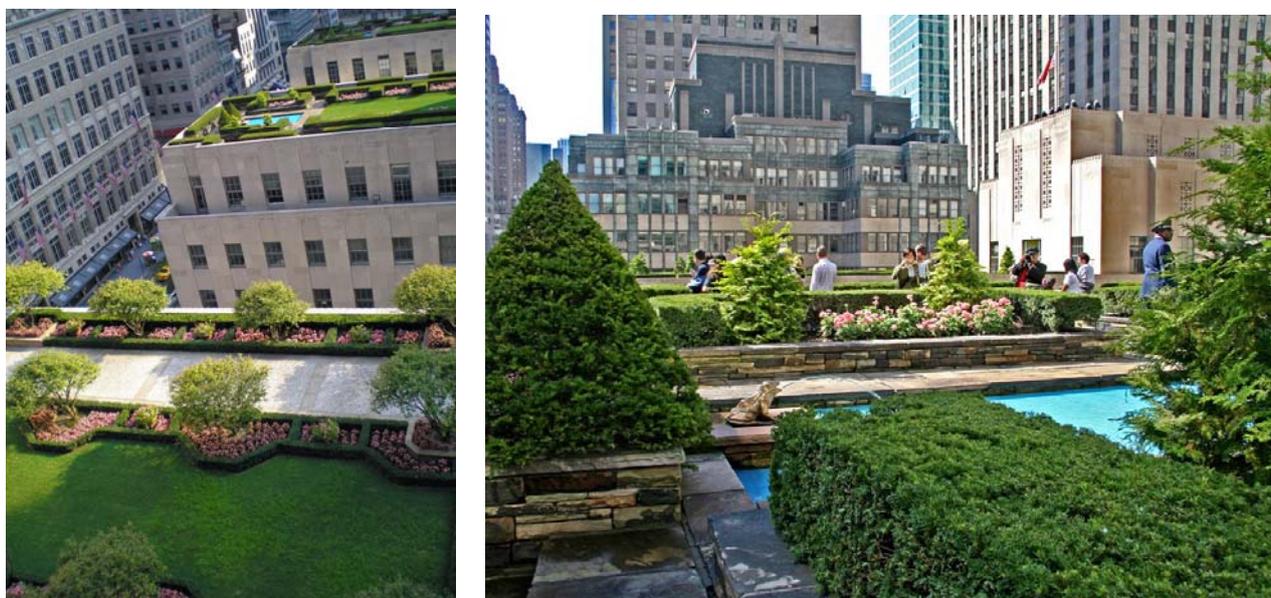


Figura 4 e 5 - Rockefeller Center, Nova Iorque, EUA. (fotos: David Shankbone, 2006)

Na Europa, em 1927, Le Corbusier publica "Théorie du toit-jardin" (Teoria do Terraço Jardim) na revista L'Architecture Vivante, que referenciava sobre as coberturas planas e o uso das coberturas como terraços utilizáveis. Ele era um dos arquitetos que acreditava que este era um dos cinco pontos-chaves da nova arquitetura.

Le Corbusier (1927) escreve sobre a experiência na construção de suas primeiras casas: "O céu podia ser vislumbrado de uma esquina à outra; de longe da rua, era possível sentir bem estar e segurança. No dia seguinte, ao colocar o telhado na sua posição, tudo desapareceu, tudo foi destruído [...]. Observei os telhados das

casas vizinhas, com grandes águas de telhas. A neve derretendo sobre o efeito da calefação interna das casas, sobrecarregando a capacidade das calhas e inundando as casas [...]. Eu pensei comigo mesmo: por centenas de anos estas coberturas suportaram a carga da neve, e deixaram de funcionar a partir do momento que começou a ser utilizado o aquecimento central. Por isso as coberturas devem ser côncavas e não convexas.”

Assim, durante anos os terraços planos foram o sonho dos arquitetos, e a partir do século XIX, ele pôde ser realizado, porém a maioria dos arquitetos não sabia como lidar com esta nova forma.

Frank Lloyd Wright utilizava as coberturas como extensões das áreas internas, e projetava apenas pequenos espaços ajardinados. Sua obra Midway Gardens, construída em Chicago em 1914, parte cassino, parte restaurante, possuía um grande terraço, uma grande área de jardim de verão, onde aconteciam várias atividades a céu aberto.

Mas definitivamente, Le Corbusier foi o que mais se empenhou na utilização das coberturas como áreas habitáveis. Reconhecia nelas, a reconquista do espaço urbano perdido nas grandes cidades. Tratava o plano térreo livre para transporte, enquanto as coberturas seriam as novas praças, as áreas de lazer, recreação, onde as condições de higiene, ventilação e insolação, são as melhores possíveis. É a Villa Savoie (Figuras 6 e 7) a mais simbólica construção por ele produzida, onde representa claramente esta idéia.



Figuras 6 e 7 - Villa Savoye, Le Corbusier, Poissy, França.

(fonte: <http://www.bluffton.edu/~sullivanm/france/poissy/savoye/corbuindex.html> – acessado em 01/09/2007)

No Brasil, o paisagista Roberto Burle Marx projetou dois terraços jardins para Lúcio Costa, com Le Corbusier como consultor, no Ministério da Educação (Figuras 8 e 9) em 1938, no Rio de Janeiro, e na Associação Brasileira de Imprensa em 1940, além de outros.

As coberturas não foram tema de grandes discussões entre os arquitetos durante as últimas décadas. As questões relativas a este tema vêm sendo tratadas individualmente, de acordo com a cultura, formação ou tendências de mercado. Além disso, equipamentos de ar-condicionado, casas de máquina, tubulações, reservatórios de água, compressores e ventiladores, vem invadindo as áreas das coberturas, devido à monopolização do espaço e ao barulho gerado, deixando pouco espaço livre que possa ser aproveitado.

A partir de 1990, as questões ecológicas passaram a ter uma influência muito mais forte na produção arquitetônica, tornando a utilização das coberturas naturadas mais que uma solução estética.

No anexo I são listados alguns projetos contemporâneos que utilizam as coberturas naturadas.

Através da análise destes projetos podemos perceber que os motivos que levaram os arquitetos a utilizarem as coberturas naturadas são diversos: conceitos particulares, cultura local, estético, etc. e nem sempre há a preocupação ambiental.



Figuras 8 e 9 – Palácio Gustavo Capanema - Ministério da Educação (Fotos: Guimarães Gustavo e Vanessa Mendes Argento).

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E CONSTRUTIVAS DAS COBERTURAS NATURADAS

Uma das maiores dificuldades na utilização das coberturas naturadas no Brasil é a falta de informação sobre como projetá-las e executá-las. Apesar de existirem muitos exemplos bem sucedidos de edificações com coberturas ajardinadas, ainda se relaciona sua utilização às infiltrações e problemas de manutenção.

A escolha do tipo de cobertura naturada deve ser compatível com as condições de implantação e gestão pretendidas. É necessário analisar todos os fatores influentes existentes, para se decidir qual o melhor tipo de cobertura será utilizada. Para cada região, há condições diferentes de ventos, insolação, temperatura, chuvas, e espécies características de vegetação, que influenciarão no sistema construtivo adotado e na sua manutenção.

É também necessário o conhecimento prévio de qual será o seu uso: se haverá acesso de pessoas na cobertura, se o objetivo é estético, por ser muito visível pelo entorno e pelas edificações adjacentes, se haverá disponibilidade financeira e de pessoal responsável para cuidar da manutenção. Quando se pretende ajardinar a cobertura de uma edificação já existente, deve-se determinar qual a carga máxima suportada pela estrutura da cobertura existente, e verificar se haverá necessidade de troca do sistema de impermeabilização.

Neste capítulo serão descritos sistemas de ajardinamento, as possibilidades de composições das coberturas, seus componentes, classificação, tipos de vegetação, métodos construtivos, detalhamentos e patologias, levantados a partir da bibliografia pesquisada, com o objetivo de esclarecer o funcionamento e o correto detalhamento e execução das coberturas naturadas.

2.1. SISTEMAS DE AJARDINAMENTO

Considera-se sistema de ajardinamento o conjunto de elementos que são utilizados na sua construção. Segundo o manual de Coberturas Naturadas da Zinco GmbH (1998), os sistemas de ajardinamento podem ser classificados, de acordo com a sua manutenção, em Intensivos e Extensivos:

As Coberturas Naturadas Intensivas são aquelas onde é necessária uma estrutura complexa de implantação e uma grande manutenção. Neste sistema podem ser utilizados quaisquer tipos de plantas, desde gramíneas até grandes árvores. Os sistemas intensivos dificilmente são executados sobre coberturas com grandes inclinações, pois o grande peso do substrato e da vegetação contribuem muito para o deslizamento. Normalmente é escolhido o sistema intensivo quando há uma preocupação estética, ou quando certos tipos de plantas são necessários.

As Coberturas Extensivas são caracterizadas por uma estrutura simples de implantação e praticamente não necessitam da intervenção humana na sua gestão. É um sistema mais leve, que requer pouca água, e com implantação mais econômica. Entretanto, não costuma permitir o pisoteio e a quantidade de espécies que podem ser utilizadas é restrita.

Os principais diferenciais de características das coberturas intensivas e extensivas variam de acordo com os diversos autores (Zinco GmbH, 1998; Schloz-Barth, Katrin, 2001; Osmudson, 1999; Minke, 2004; NTJ-11E, 1999). Segundo a norma espanhola NTJ-11E (1999), por exemplo, as coberturas extensivas devem ter no máximo 15 cm de substrato e pesar menos que 120 kg/m².

Apesar dos dois sistemas apresentarem muitos benefícios ambientais, as Coberturas Extensivas são consideradas eco-eficientes, pois contribuem para o conforto ambiental e eficiência energética, sem despenderem grande quantidade de recursos externos para a sua construção e manutenção.

Coberturas Naturadas Intensivas e Extensivas		
Características	Intensiva	Extensiva
Substrato	Requer no mínimo 30 cm de profundidade de Solo.	Requer de 2 cm a 30 cm de solo.
Vegetação	Qualquer tipo de vegetação, árvores, e jardins.	Plantas mais resistentes e rasteiras.
Carga	360-680 kg por metro quadrado	50-220 kg por metro quadrado
Manutenção	Requer manutenção regular	Manutenção anual
Drenagem	Requer complexo sistema de irrigação e drenagem	Sistema simples de irrigação e drenagem

Tabela 1 – Características das coberturas Naturadas Intensivas e Extensivas. Schloz-Barth, Katrin. 2001. "Green Roofs: Stormwater Management From the Top Down." Environmental Design & Construction. January 15.

2.2. COMPONENTES CONSTRUTIVOS

Existe um vasto espectro de componentes construtivos para os elementos que compõem uma cobertura ajardinada. Porém, basicamente, todos respondem às mesmas funções: estrutura de suporte, camada de proteção contra água de chuva, proteção térmica, drenagem, substrato, e a vegetação, como pode ser observado na ilustração das figuras 10 e 11 a seguir.

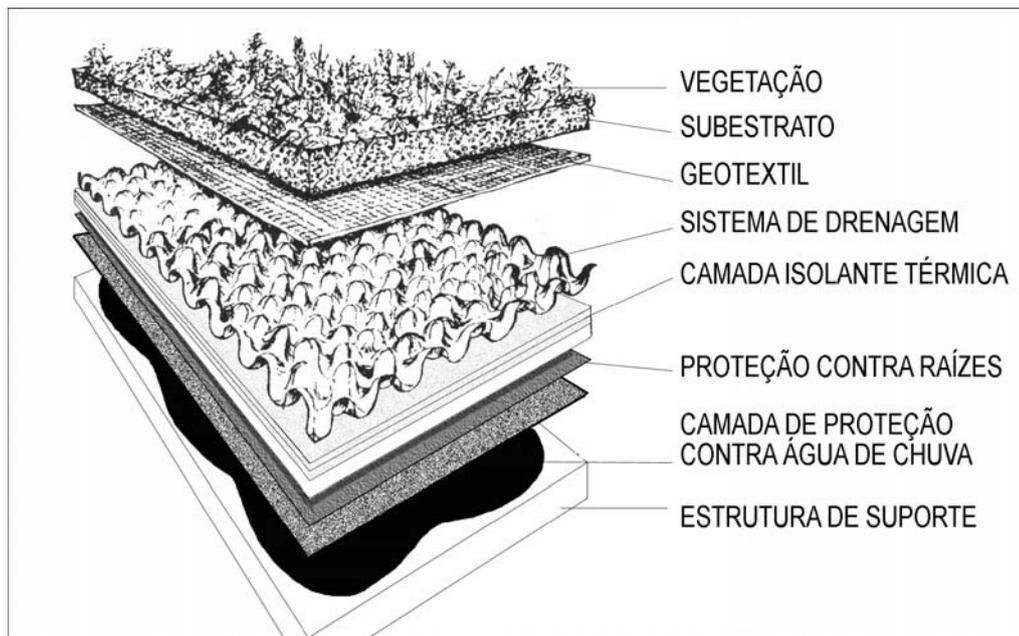
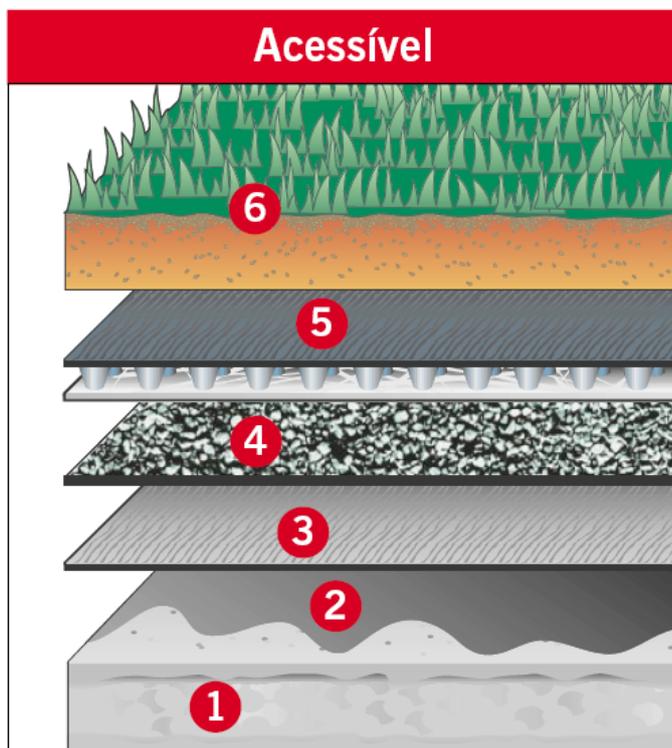


Figura 10 - Sistema genérico de cobertura naturalizada em lajes planas. (fonte: U.S. Environmental Protection Agency - <http://www.epa.gov/nrmrl/news/news042006.html> em 01/03/2007)



Cobertura plana ajardinada.

- 6- Terra vegetal
- 5- Membrana drenante Drentex-Impact Jardim
- 4- Moply FP 4 Kg mineral jardim
- 3- Moply FV 3 Kg
- 2- Primário betuminoso
- 1- Suporte resistente com pendentes

Figura 11 - Sistema de cobertura naturalizada em lajes planas proposto pela empresa TEXSA. (fonte: www.texsa.pt em 15/08/2007)

2.2.1 Estrutura de Suporte

A estrutura de suporte é a base de sustentação das cargas que serão aplicadas na cobertura. Pode ser plana ou inclinada, e composta por diversos materiais. O peso da vegetação e do substrato que serão utilizados vai determinar a estrutura de suporte necessária.

Para o dimensionamento da estrutura da cobertura, são considerados como cargas permanentes, o peso total da cobertura, o peso do substrato no estado de saturação máxima e o peso da vegetação.

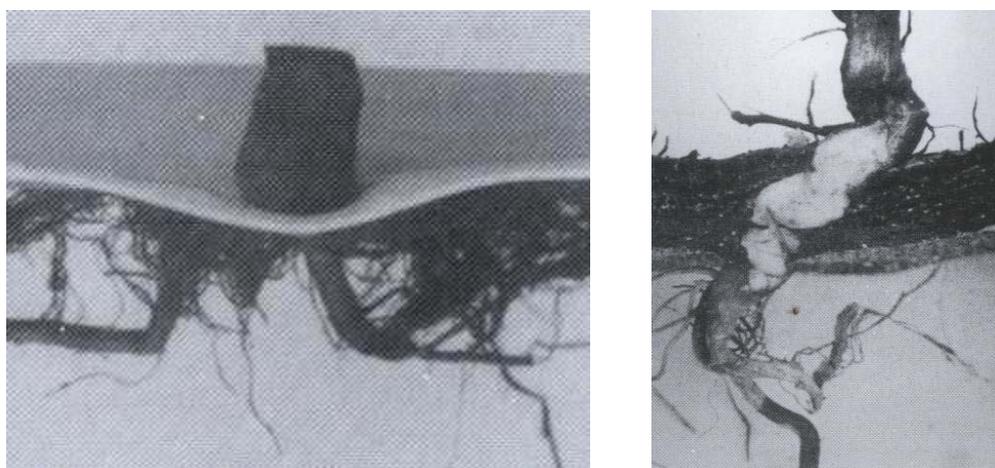
O efeito de sucção do vento, que afeta geralmente as coberturas, é reduzido consideravelmente devido à rugosidade promovida pela vegetação, compensando a pressão do ar que entra pela parte superior e da parte inferior da superfície da cobertura. Além disso, segundo Minke (2004), é gerada na trama de raízes no substrato, uma distribuição das forças diferentemente do que ocorre em outro tipo de coberturas, reduzindo o valor da carga. Tal fato deve ser levado em consideração quando calculada a estrutura do edifício, e uma cobertura vegetal bem enraizada com 15 cm de substrato, não sofre em sua opinião, nenhum efeito da sucção do vento.

As coberturas extensivas com uma camada uniforme única de substrato, com camada de drenagem de 10 cm porosa, em estado de saturação de água, atinge o peso aproximado de 100 kg/m² (Minke, 2004).

2.2.2 Proteção Contra Água de Chuva

A hermeticidade à água é a principal função das coberturas. No caso das coberturas naturadas, para conseguir a hermeticidade, é necessário escolher o tipo de proteção adequada, de forma a guiar corretamente as águas, e proteger a laje contra a perfuração das raízes das plantas.

Certos tipos de plantas possuem microorganismos que se proliferam nas pontas das raízes, e que dissolvem materiais betuminosos, dificultando um selamento perfeitamente hermético (figuras 12 e 13).



*Figura 12 e 13 - Perfuração em Membrana Asfáltica 15 mm e perfuração em PVC.
(fonte: Minke, 2004)*

Durante a execução, é importante evitar pontos de acumulação de água (como nas juntas, ou entre lâminas de mantas), pois nestes pontos a raiz ganha força e cresce rapidamente. A experiência demonstra que pode ser necessário aplicar mais de uma camada de isolamento em certos pontos, para assegurar a proteção.

A seguir estão relacionados alguns diferentes tipos de membranas resistentes às raízes:

- Membranas Polímero-elastómero-betuminosas
- Membranas de PVC
- Membranas de Polietileno
- Seladores fluídos com poliuretano e com resinas de poliéster
- Lonas de Poliéster revestido de PVC

Segundo Wollet (2000), as mantas de PVC são muito utilizadas, pela sua praticidade, preço e resistência contra as raízes, embora o PVC promova impactos ambientais, como a liberação de produtos carcinogênicos e irritantes durante a sua fabricação e a baixa capacidade de reciclagem após o seu descarte.

Quando da aplicação a edificações existentes, na re-habilitação, ou reforma, em construções com impermeabilização existente, pode-se aplicar uma lâmina de polietileno sobre a impermeabilização betuminosa, resistindo à perfuração das raízes. Também existem no mercado, produtos químicos repelentes, que afastam as raízes do material betuminoso, mas que devem ser evitados, por serem altamente tóxicos.

2.2.3 Drenagem

A função da capa de drenagem é permitir o escoamento da água excedente. Deve ser constituída de materiais de grande granulometria e porosos, como a argila expandida, areia ou vermiculita, para permitir o rápido escoamento da água (figuras 14 e 15).



Figura 14 e 15 - Foto de Vermiculita e argila expandida (fonte: www.eduvasconcelos.com.br - 15/10/2006)

A inclinação da cobertura é um fator decisivo na escolha do sistema que será adotado. Em tetos planos com uma camada fina de substrato e sem uma adequada camada de drenagem a água das chuvas fica estagnada, o que prejudica a respiração das raízes de muitos tipos de plantas.

Se a inclinação da cobertura for menor que 5%, deve-se utilizar um filtro (Geotêxtil), para que o substrato não escoe para a capa de drenagem. Caso contrário o escoamento é tão acelerado que não necessita do filtro.

De acordo com Minke (2004), para evitar um sistema de drenagem especial, a construção da cobertura deve ter uma inclinação de no mínimo 5%. Os tetos com grandes inclinações necessitam em geral precauções especiais, que impeçam que o substrato deslize.

2.2.4 Substrato

O Substrato é a camada de suporte da vegetação, onde as raízes se desenvolvem e se alimentam.

Segundo Machado (2002), alguns parâmetros devem ser utilizados na escolha de um bom substrato, seguindo as normas NTJ 11E (Normas Tecnológicas de Jardineria y Paisajismo do Colégio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas y Peritos Agrícolas de Cataluña), são recomendados:

- Boa capacidade de retenção de água;
- Alto conteúdo de fração mineral;
- Alto conteúdo em matéria orgânica natural;
- Alta capacidade de intercâmbio catiônico;
- Alta bioestabilidade;
- Homogeneidade na mistura;
- Boa capacidade de rehidratação;
- Baixa taxa de contração;
- Isenção de patógenos vegetais;
- Isenção de fitotoxicidade residual;
- Componentes de baixa inflamabilidade;
- Baixa salinidade;
- Baixa alcalinidade;
- Baixo conteúdo de cal ativa;
- Estabilidade na manutenção de suas propriedades;

Além disso, segundo Machado (2002), "a decomposição biológica e a compactação da capa de substrato deverão ser mínimas e devem contar em sua maioria de componentes inorgânicos, e os componentes minerais não deverão

dispersar-se perdendo sua estrutura inicial, em outras palavras devem ser resistentes.”

De acordo com Minke (2004), o Substrato não deve conter muito húmus, nem ser muito argiloso, pois o objetivo é garantir a porosidade do solo, e não permitir que a vegetação cresça muito rapidamente, pois pode absorver muita água e secar. Para isto ele pode ser empobrecido com areia. A composição deve ser de 20% de argila e húmus para 75% de minerais de granulometria entre 0-16 mm.

Para determinar a quantidade de água que será requerida pelo sistema da cobertura naturalizada, bem como determinar a quantidade de água captada pela cobertura que poderá ser reutilizada na edificação, deverão ser conhecidas algumas características do substrato, como a sua densidade aparente, sua capacidade de campo e o seu ponto de murcha.

A densidade aparente é definida pelo peso seco por unidade de volume de solo. A capacidade de campo é a quantidade de água armazenada no substrato após a quase total drenagem do seu excesso. O ponto de murcha permanente é umidade mínima do substrato, para que as plantas possam repor a água necessária para a sua turgência (volume normal).

2.2.5 Vegetação

A vegetação é o componente mais importante do conjunto a ser determinado, pois depende de muitas variáveis: funcionais, estéticas e climáticas. Sua escolha deve atender a requisitos do entorno da construção e da gestão esperada.

Para um bom resultado devem ser considerados diversos fatores:

- Tipo de cobertura: extensiva ou intensiva
- Volume e peso suportado pela estrutura da cobertura;
- Inclinação da cobertura;
- Capacidade de armazenamento de água do substrato;
- Exposição ao vento;
- Orientação solar;
- Sombras;
- Chuvas;
- Temperatura ambiente;

- Necessidade de manutenção;
- Aspecto visual;
- Espécies existentes características da região;
- Existência de insetos e pássaros;

Assim, para cada combinação de requisitos destes fatores, são encontrados diferentes tipos de espécies vegetais adequadas. Dentro de uma mesma cidade, por exemplo, as espécies utilizadas em uma cobertura de um edifício localizado em frente ao mar, não serão as mesmas espécies utilizadas em edifícios localizados na encosta de morros.

Para Dajoz (1983), a implantação de uma cobertura naturalizada, em um local específico, cria um biótopo particular, ou seja, um conjunto de condições físicas e ambientais, que vão determinar os seres vivos que podem se adaptar a este ambiente.

A escolha das espécies vegetais pode ser muito ampla, devendo ser coerente ao biótipo criado, ou existente. Entretanto, excluem-se a utilização de algumas espécies, que devido a alguns fatores particulares, independente do biótipo em que se encontram, poderão causar problemas de implantação e/ou gestão.

De acordo com Modesto (1981), do ponto de vista morfológico, as plantas com raízes pivotantes ou axiais¹, deve ser evitada, pois cresce em direção ao centro do solo, com muita força. Devem ser escolhidas plantas com raízes fasciculadas, que se desenvolvem com feixes longos e finos em todas as direções a partir de um mesmo ponto, se adaptando e contornando os obstáculos encontrados, como é o caso das monocotiledôneas.

Nas coberturas, a presença permanente da água geralmente é escassa, pois a evaporação é maior e a drenagem deve ser constante, exigindo que as plantas possam sobreviver com pouca água, principalmente se não houver irrigação constante. Assim, devem ser escolhidas plantas com folhas pequenas e duras, onde há a presença de recidos de sustentação. Segundo Sezar (1989), na epiderme das plantas pode haver uma cutícula de cutina ou uma camada de cera, ambas impermeabilizantes, e até mesmo pêlos protetores. Algumas têm um parênquima aquífero, tecido armazenador de água. Essas folhas, denominadas xeromorfas,

¹ As raízes pivotantes ou axiais são as que possuem uma raiz principal com ramificações laterais.

garantem à planta uma boa economia de água. Em alguns casos as folhas ficam reduzidas a pequenas escamas ou se transformam em espinhos, como no caso das cactáceas.

As plantas da espécie das suculentas atendem a maioria dos requisitos necessários para a implantação em coberturas naturadas, principalmente da família Crassulaceae, do gênero Sedum, assim como certas plantas vivaces, herbáceas perenifólias, cespitosas e subarborescentes. Segundo Machado (2002), nos locais de clima quente, as plantas MAC "Metabolismo Ácido das Crassuláceas" e as plantas C4¹ são as que melhor podem adaptar-se ao uso em coberturas naturadas extensivas. Felizmente, as plantas MAC compreendem mais de 18.000 espécies, distribuídas em 33 grupos. Entre as famílias pertencentes ao grupo de planta MAC existem as Aizoaceae, Agavaceae, Asclepiadaceae, Bromeliaceae, Cactaceae, Commelinaceae, Crassulaceae, Dracaenaceae, Lamiaceae, Orchidaceae, Piperaceae, Portulacaceae, etc. Sayed (2001) elaborou uma lista de espécies do tipo MAC, estudadas e documentadas em 25 anos de pesquisa pelo departamento de botânica da Universidade de Minia, no Egito.

Segundo a norma espanhola NTJ-11E (1999), as suculentas apresentam as seguintes características:

- Capacidade de retenção da água em seus tecidos;
- Grande resistência a altas radiações e temperaturas elevadas;
- Redução da transpiração durante o dia, pelo fechamento dos estômatos;
- Resistência a grandes períodos sem água;
- Grande resistência a baixas temperaturas de algumas espécies;
- Poucas exigências nutricionais;
- Fácil propagação;
- Não são inflamáveis;
- Necessitam de um substrato muito poroso;
- Não possuem resistência ao pisoteio;
- Algumas espécies têm limitações a determinado pH.

¹ A maioria das plantas fixa o carbono através do mecanismo bioquímico denominado C3. A fixação do carbono pelo mecanismo C4 é uma evolução de algumas espécies, permitindo que estas plantas resistam a ambientes com altas temperaturas e deficiência de dióxido de carbono, nitrogênio e água.

Algumas plantas podem funcionar para a proliferação de insetos ou outros animais que possam transmitir doenças, como a dengue, proliferação também atribuída ao ambiente favorável dos copos das bromélias. Segundo Marques, “Comparativamente aos criadouros artificiais encontrados em área urbana, as bromélias podem ser consideradas secundárias, mas merecem atenção face à crescente comercialização para fins ornamentais, inclusive com produção em escala industrial. Isso poderia significar incremento de criadouros viáveis para esse mosquito...”. (Marques, 2001).

No anexo D estão listadas as plantas utilizadas em coberturas naturadas nos Estados Unidos (clima subtropical, mediterrâneo e temperado), e no anexo E estão algumas das plantas utilizadas em coberturas naturadas definidas pela norma espanhola NTJ 11E (clima mediterrâneo, continental e oceânico). No anexo F estão listadas as plantas indicadas para coberturas naturadas pela NParks, de Cingapura (clima tropical úmido).

Para determinar a contribuição de cada tipo de espécie vegetal, ou de grupos de espécies, em relação à troca com o ambiente de gás carbônico, vapor de água, e outros compostos, além de determinar sua capacidade de retenção de poeiras e de balanço energético, duas características são importantes: o LAI (Leaf Área Index) e o PAR (Photosynthetically Active Radiation). O LAI é a área de superfície de folhas por metro quadrado de vegetação, e o PAR é a capacidade da planta de absorver a radiação solar para realizar a fotossíntese. Estes dois índices variam de acordo com a espécie vegetal utilizada, ou com o grupo de espécies que podem estar conjugadas.

Existem diversas metodologias para se obter o LAI e o PAR de uma planta, podendo ser através de amostras destrutivas ou não. Muitas empresas especializadas na produção de equipamentos eletrônicos de medição já comercializam equipamentos que possibilitam, não só a determinação do LAI e do PAR, como também a profundidade das raízes, condutância dos estômatos¹, difusão da água sobre as folhas, composição do solo, etc..

¹ Pequenas estruturas epidérmicas existentes nas folhas, formadas por duas células estomáticas (células guardas), que delimitam uma fenda (ostíolo), duas ou mais células anexas (acessórias ou subsidiárias) adjacentes e uma câmara subestomática, a qual está em conexão com os espaços intercelulares. Através dos estômatos há uma comunicação direta do interior da planta com o ambiente.

No Brasil, o Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ em parceria com a Universidade de Ciências Aplicadas de Colônia e a Universidade de Ciências Aplicadas de Neubrandenburg na Alemanha realizou uma pesquisa com plantas tropicais identificando as espécies que apresentam melhores condições de adaptação tendo como objetivo a construção de telhados extensivos no Brasil.

As mudas das plantas monitoradas foram obtidas em Outubro de 2000 na cidade do Rio de Janeiro, junto ao Horto da Fundação Parques e Jardins em Jacarepaguá (Tabela 2). Elas foram transplantadas para canteiros pilotos e instaladas em caixas de madeira, preparadas para o plantio com forração de manta Bidim mod. XT-2 2-15 RV e substrato Plantmax (460 kg/m³) da Eucatex, formando uma camada de 5 cm. Cada canteiro, num total de cinco, recebeu cinco mudas de duas plantas diferentes.

NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR
<i>Portulaca grandiflora</i>	Onze horas
<i>Tradescantia pallida</i> , var. <i>purpurea</i> Sin.: <i>Setcreasea purpurea</i> .	Coração roxo, tapueraba
<i>Tradescantia spathacea</i> , var. <i>mirim</i> Sin.: <i>Rhoeo discolor</i> , <i>rhoeo</i>	Abacaxi roxo, moisés-no-berço
<i>Sphagneticola trilobata</i> Sin.: <i>Wedelia paludosa</i>	Mal-me-quer, vedélia
<i>Tradescantia zebrina</i> , var. <i>purpusii</i> Sin.: <i>Zebrina purpusii</i>	Tapueraba roxa, Lambari roxo
<i>Bulbine frutescens</i> Sin.: <i>Bulbine caulescens</i>	Bulbine
<i>Liriope muscari</i>	Barba-de-serpente, ofiopogo-azul
<i>Asparagus densiflorus</i> , var. <i>sprengeri</i> Sin.: <i>Asparagus sprengeri</i>	Asparago-pendente
<i>Pilea microphylla</i>	Brilhantina
<i>Senecio confusus</i>	Jalisco, flama-do-méxico, margaridão
<i>Pedilanthus tithymaloides</i>	Pedilanto, dois irmão, sapatinho-de-judeu

Tabela 2 – Plantas utilizadas nos canteiros pilotos da coberturas naturadas extensivas

Após o plantio, as mudas foram regadas e expostas às condições ambientes, isentas de sombreamento, no campus do CEFET/ RJ (Maracanã), no Rio de Janeiro, sendo monitoradas por doze dias (de 20/10/00 a 31/10/00), observando-se os seguintes resultados visuais:

- A *Wedelia paludosa* não resistiu e morreu;
- Bom aspecto geral das demais plantas;
- A *Bulbine caulescens* e a *Setcreasea purpúrea* floriram;
- As flores da *Portulaca grandiflora* não abriram, mas a planta apresentava bom estado;
- Os *Asparagos sprengeri* apresentaram bulbos.

Após esse período de pega, os canteiros pilotos foram mantidos em condições extensivas. O local foi mudado, tendo como consequência um sombreamento devido à uma parede durante a tarde. Sob essas condições, os canteiros pilotos foram monitorados até o mês de março de 2001, perfazendo um período de cinco meses, atravessando o verão carioca. (Laar, 2001).

Os resultados obtidos nesta pesquisa, entretanto, servem apenas como orientação preliminar local, devido à ausência de amostragem representativa ou repetição do evento, não podem ser definitivos para determinar se as plantas utilizadas podem ser utilizadas em coberturas naturadas. As espécies escolhidas poderiam sobreviver ou morrer, pela simples variação de fatores como orientação, sombreamento, ou ventos, que poderiam acontecer caso a cobertura fosse em um prédio mais alto ou em outro local.

2.3. DETALHES CONSTRUTIVOS

Considerando o dinamismo que envolve o sistema das coberturas naturadas, o detalhamento dos projetos é fundamental para o seu bom desempenho, promovendo uma gestão mais simples, e aumentando a vida útil da cobertura.

Dentre os cuidados que devem ser tomados durante o detalhamento dos projetos, deve-se reservar a área ao redor da cobertura sem vegetação, para evitar incêndio ou que a vegetação invada a fachada (figura 16). Esta área pode ser também o local para instalação da tubulação de drenagem da água excedente (figura 17).

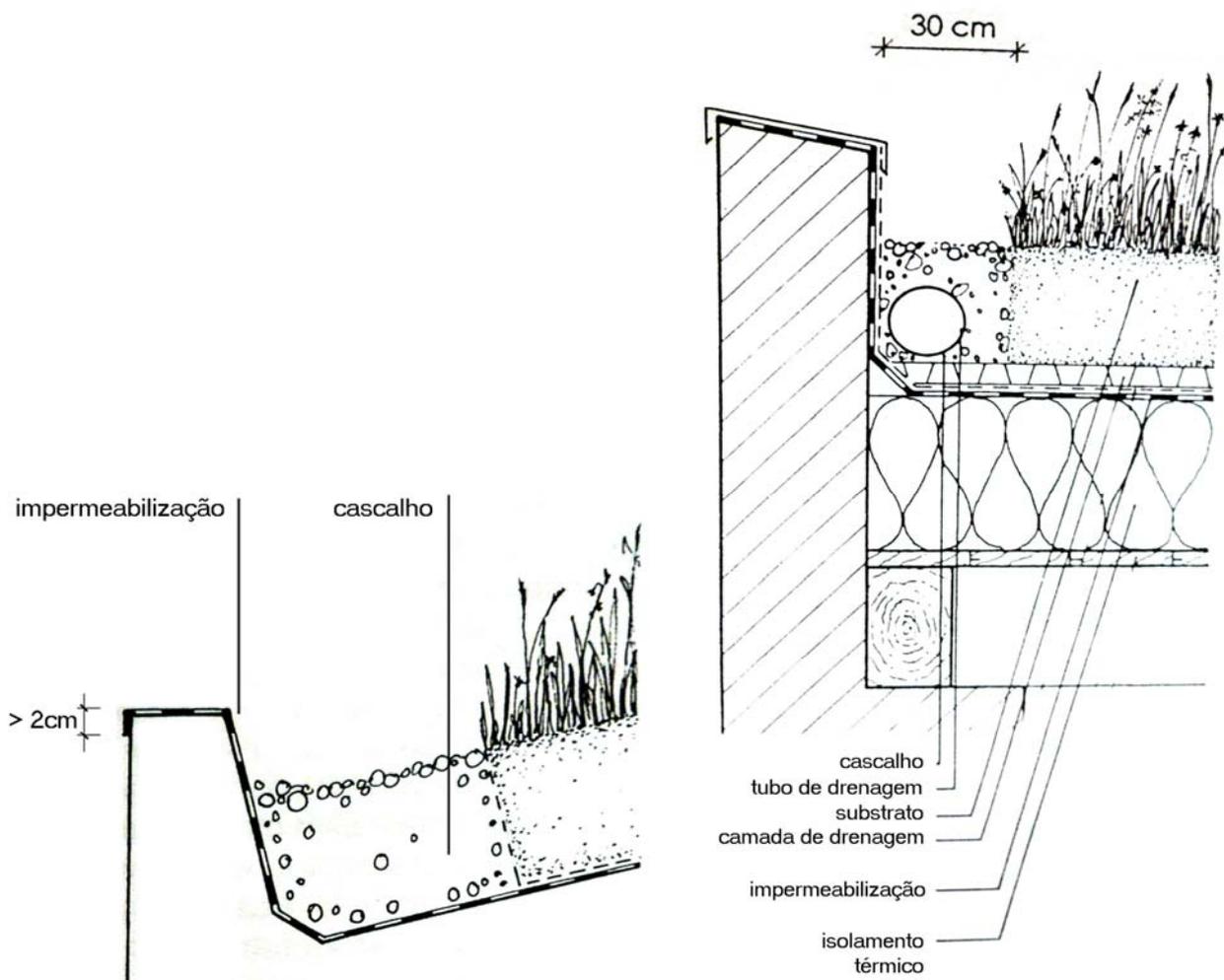


Figura 16 e 17 – Detalhes da área de separação entre beirais e a parte ajardinada da cobertura (Minke, 2004).

No projeto de instalações hidrosanitárias, o dimensionamento da tubulação de descida das águas pluviais pode ser minorado, devido à diminuição da velocidade do escoamento da água e pela água que é absorvida pela cobertura naturada.

É necessário prever caminhos de acesso para que seja feita manutenção, ou projetar o sistema para suportar a carga de pessoas, prever áreas para armazenamento de água e pontos de torneira para eventual rega.

Peças de madeira, ou outro material que possa deteriorar se umedecidos, não devem encostar no substrato ou na vegetação, e devem ser executados respiros em locais onde possa haver retenção de umidade. Quando a cobertura for muito inclinada, devem-se utilizar peças que evitem o deslizamento do substrato (figura 18).

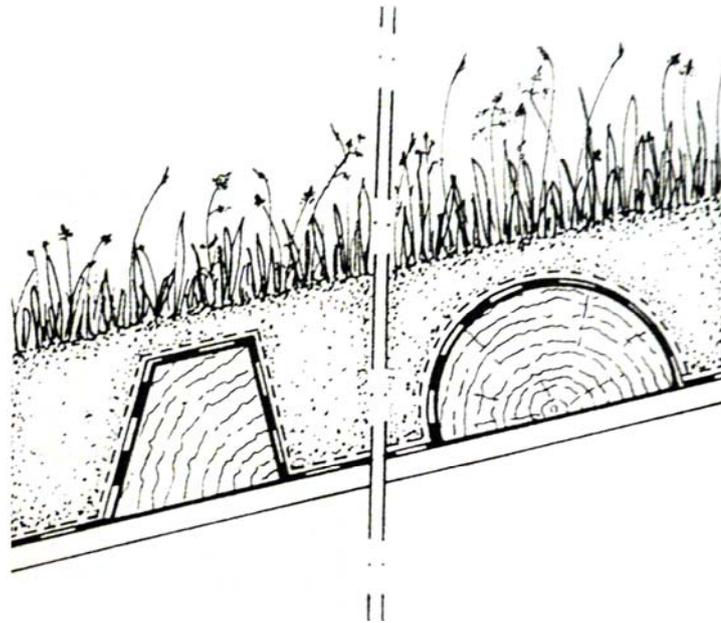


Figura 18 – Detalhe de peças de madeira para evitar o deslizamento do substrato (Minke, 2004)

Toda interferência na cobertura, como ventilações, domos, clarabóias, etc., deve ser separada do substrato por uma faixa de drenagem (figura 19).

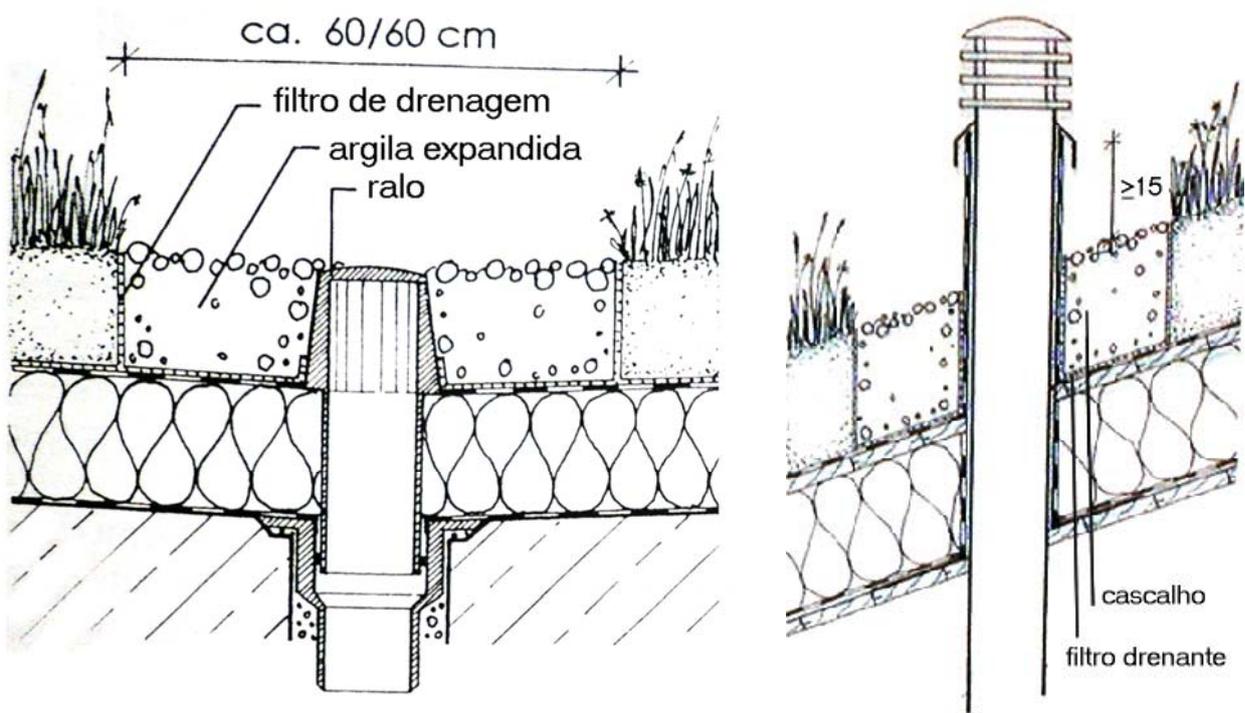


Figura 19 – Detalhes de proteções de interferências na cobertura com áreas de drenagem (Minke, 2004).

2.4. Considerações Gerais

Através da revisão bibliográfica dos capítulos anteriores, se verifica que a utilização das coberturas naturadas nas edificações requer uma série de cuidados específicos, tanto em projeto, como em execução. Também se verifica que existe uma grande variedade de soluções possíveis, que vão variar de acordo com condições locais e/ou com as necessidades do empreendedor. Por estes motivos, é necessário mão de obra qualificada e profissionais com experiência na execução e projeto das coberturas naturadas, para que elas sejam eficientes e não gerem problemas futuros de gestão.

3. PRINCIPAIS ATRIBUTOS AMBIENTAIS DAS COBERTURAS NATURADAS: A ABORDAGEM HQE®

O desempenho ambiental de uma edificação é o conjunto de características da construção e do seu entorno, ou adaptação de uma edificação existente, que lhe confere a aptidão de satisfazer as necessidades de:

- Gestão de impactos da construção sobre o ambiente exterior;
- Criação de um ambiente interno saudável e confortável.

Segundo Zambrano (2004), as avaliações ambientais e a incorporação dos conceitos de sustentabilidade nos edifícios representam uma resposta para a busca da melhoria na eficiência dos mesmos, com a redução de seus impactos sobre os ocupantes e o meio ambiente exterior. Além disso, maximiza o potencial de criação de valor do bem imóvel e de desenvolvimento social.

Existem muitos estudos sobre os atributos ambientais das coberturas naturadas. Com o objetivo de avaliar a sua importância, os atributos serão descritos face à uma abordagem de avaliação ambiental existente.

Existem diversos sistemas de certificação e avaliação ambiental, que analisam os projetos e obras construídas. Apesar de cada sistema possuir critérios diferentes, todos levam em consideração a utilização dos materiais e técnicas construtivas que podem influenciar no desenvolvimento sustentável e no melhor aproveitamento energético.

Dentre os sistemas existentes, foi escolhido o sistema francês de Alta Qualidade Ambiental (HQE®), que define pesos baseado nos requisitos e disponibilidades do empreendimento e do contexto em que está inserido, podendo se adaptar melhor a qualquer tipo de situação. Além disso, as colônias francesas em regiões de clima tropical úmido, como Martinica, Guiana Francesa, e Nova Caledônia, promoveram experiências nas características climáticas e nos métodos construtivos similares aos do Brasil (ASSOHQE, 2007).

3.1 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO DE ELEVADO DESEMPENHO AMBIENTAL

O “Haute Qualité Environnementale” ou HQE® (Elevado Desempenho Ambiental) é um sistema de avaliação de edificações utilizada na França, baseada nos princípios de desenvolvimento sustentável. Este sistema foi desenvolvido pela Associação ASSOHQE, fundada em 1996, em Paris, regulamentando e classificando seus princípios.

O objetivo do HQE® é desenvolver a qualidade ambiental das edificações. Mais especificamente, se concentra em duas grandes unidades: o controle das influências negativas de uma construção no ambiente exterior e a concepção de um ambiente interno satisfatório. O HQE® estabelece categorias que procuram seguir os seguintes princípios:

- Controle dos efeitos negativos no ambiente externo: Eco-construção: harmonia na relação entre as construções e o seu entorno, cuidadosa escolha das tecnologias e materiais de construção, diminuição dos distúrbios causados pela construção. Eco-gerenciamento: gerenciamento de energia, água, lixo e manutenção.

- Criação de um ambiente interno satisfatório: Conforto: Higrotérmico (umidade, calor, acústica, visual, odores). Salubridade: Boas condições de higiene, qualidade de ar e qualidade de água.

O HQE® procura considerar tanto questões ligadas ao planejamento urbano, quanto a edificações novas, e edificações existentes, dentro da perspectiva do desenvolvimento sustentável. O seu foco está em desenvolver critérios para a proteção dos recursos naturais, reduzir a emissão de poluentes, bem como melhorar as condições de conforto, qualidade de vida e salubridade das construções. Uma edificação que segue o método HQE pode satisfazer estes critérios iniciando desde sua concepção arquitetônica, até o caso da necessidade de sua demolição. (ASSOHQE, 2007)

A utilização dos critérios do HQE pode ajudar na escolha de um material ou técnica de construção que melhore a qualidade ambiental dos projetos para novas edificações ou reformas de edificações existentes. Porém cabe aos projetistas e construtores selecionarem os materiais que irão utilizar de acordo com as necessidades de design, econômicas, ambientais, técnicas, de salubridade, etc..

De acordo com Hetzel (2003), a Associação ASSOHQE desenvolveu um método de compreensão das questões envolvidas no processo conceptual construtivo e suas

relações com a qualidade ambiental em 14 alvos, divididos em quatro grandes grupos. Os primeiros sete princípios tratam do controle dos efeitos da construção e o seu gerenciamento em relação ao ambiente. Os outros sete princípios tratam do conforto e salubridade dos usuários.

Os 14 Alvos do HQE são:

Grupo 1: Eco-construção

Alvo 1: Relação Harmoniosa Entre a Construção e o Seu Entorno

Alvo 2: Escolha Integrada dos Materiais e Processos Construtivos

Alvo 3: Canteiro de Obras com Baixo Impacto

Grupo 2: Eco-gestão

Alvo 4: Gestão de Energia

Alvo 5: Gestão da Água

Alvo 6: Gestão de Resíduos / Sobras de Atividades

Alvo 7: Manutenção e Reparo

Grupo 3: Conforto

Alvo 8: Conforto Higrotérmico

Alvo 9: Conforto Acústico

Alvo 10: Conforto Visual

Alvo 11: Conforto Olfativo

Grupo 4: Salubridade

Alvo 12: Condições Sanitárias¹

Alvo 13: Qualidade do Ar

Alvo 14: Qualidade da Água

Os níveis de desempenho possíveis para cada um dos alvos do sistema HQE® são²:

¹ O termo Condições Sanitárias se deve a tradução do francês "*Conditions sanitaires*", abrangendo as condições do ambiente interno, condições de higiene, limpeza, e acessibilidade para portadores de necessidades especiais.

² Os termos de Desempenho Padrão, Desempenho Eficiente e Desempenho de Alta Eficiência, se devem a tradução dos termos franceses: "réglementaire", "performant", e "très performant".

- **Desempenho Padrão:** correspondendo ao nível regulamentar, se existente, ou á boa prática corrente;
- **Desempenho Eficiente:** correspondendo a desempenhos acima da boa prática corrente;
- **Desempenho de Alta Eficiência:** nível calibrado por meio dos desempenhos máximos constatados recentemente em empreendimentos com alta qualidade ambiental, com a condição de que sejam atingíveis.

Segundo a ADDENDA (2006), no âmbito de operações HQE®, para fins de certificação ambiental, o empreendedor deve trabalhar segundo os 14 alvos da Alta Qualidade Ambiental distribuídos da seguinte forma:

7 alvos, ao menos, respondendo às exigências do nível Desempenho Eficiente, dentre os quais, ao menos 3 devem responder ao nível de Desempenho de Alta Eficiência.

Os alvos restantes, 7 no máximo, devem responder às exigências do nível de Desempenho Padrão.

O uso da vegetação sobre as coberturas pode promover impactos positivos sob a ótica da sua contribuição aos 14 alvos do HQE®, mas com influências diferenciadas.

Com esta ótica, a seguir são destacados os alvos do sistema HQE®, de maior influência em relação aos atributos das coberturas naturadas. São descritos como cada um destes atributos influencia na qualidade ambiental das edificações, sempre que possível, utilizando referências bibliográficas de áreas de clima tropical úmido. Desta forma, é possível identificar como o uso das coberturas naturadas pode refletir na análise da qualidade ambiental de um empreendimento.

3.2. Relações Harmoniosas das Edificações com o Entorno Imediato – Alvo 01

"A cidade é um ecossistema criado pelas pessoas para sua mútua realização. Num ecossistema, assim como numa floresta tropical tudo está inter-relacionado e é interdependente. Cada organismo provê algo essencial para a vida de outros organismos e, em troca deles, recebe aquelas coisas essenciais para sua própria sobrevivência e bem-estar."

David Engwicht (1992)

3.2.1. Introdução

O primeiro Alvo visa a compreensão e o aproveitamento das possibilidades que o terreno e o seu entorno imediato disponibilizam ao empreendimento, e reciprocamente a redução dos distúrbios que a construção poderá causar em seu entorno, e na comunidade local. São contemplados o uso dos serviços locais de infraestrutura, rede de transportes, água potável, energia e telecomunicações, a utilização de materiais produzidos na região, energia solar, ventos, subsolo, comunidades, etc.

3.2.2. Relações das Coberturas Naturadas e seu Entorno Imediato

A implantação de uma nova construção, com ou sem a utilização das coberturas naturadas, implica na alteração da paisagem natural existente de um ambiente. Segundo Chacel (2001), "... recriar um ecossistema é impossível, uma vez que, mesmo num processo de regeneração natural, as atuais situações morfológicas conduziram a situações climáticas distintas...", portanto qualquer que seja a intervenção feita, as condições ambientais jamais serão iguais às originais. Chacel define ainda o conceito de Ecogênese, "A Ecogênese, então deve ser entendida como uma ação antrópica e parte integrante de uma paisagem cultural que utiliza, para

recuperação dos seus componentes bióticos¹, associações e indivíduos próprios que compunham os ecossistemas originais.”.

As construções podem fazer parte do conceito da Ecogênese, quando, ao mesmo tempo em que estão modificando o ecossistema natural, colaboram com a manutenção e/ou recuperação dos componentes bióticos originais. Um dos precursores desta teoria, e por este motivo se tornando um dos mais conceituados paisagistas do mundo, foi Roberto Burle Marx, que muito mais que criar uma nova estética paisagística, foi incansável na defesa dos recursos naturais brasileiros.

A utilização das coberturas naturadas pode agir no intuito de integrar a edificação com o seu entorno, podendo agir como um foco de disseminação da fauna e da flora, restaurando de certa forma, condições dos biótopos originais. A partir do momento que diversas edificações passam a implantar certa variedade de espécies vegetais em suas coberturas, juntamente com os parques, praças, praias e outros ambientes naturais, podem contribuir com a criação de um ecossistema mais ecológico.

Mas a criação de novos ecossistemas pode também trazer transtornos, como a proliferação de insetos indesejáveis como a dengue, ou pássaros e outros animais que possam transmitir alguma doença. Por este motivo a escolha adequada de plantas e do sistema construtivo como um todo, deve ser integrada e os aspectos externos analisados.

Entre as alterações específicas que as coberturas naturadas podem promover no seu entorno, existem ainda outros atributos, que são abordados com mais detalhes em outros alvos, tais como: regularização da temperatura e umidade do ar exterior, a absorção e difração do som externo, efeito estético, e os odores das plantas.

¹ Os componentes bióticos são todos os seres vivos e suas relações em um ecossistema.

3.3. Escolha integrada dos processos construtivos – Alvo 02

3.3.1. Introdução

Este Alvo leva em consideração a escolha integrada dos processos da construção, intrinsecamente, e no nível da avaliação quanto à durabilidade e adaptabilidade das edificações com o passar do tempo, os danos ambientais causados pelo desgaste dos materiais construtivos e pelas suas patologias, e os impactos ambientais gerados por todo o ciclo de vida dos materiais utilizados na construção. Quando for feita a escolha das técnicas e materiais, deve ser analisado todo o seu ciclo produtivo: uso de recursos naturais, extração, consumo de energia durante a produção, transporte, efeitos no ambiente e no ser humano, etc.. Também deve ser analisada a relação custo benefício de seu emprego com as fases de utilização, limpeza, degradação, peso, e possibilidade de reciclagem após o seu descarte.

3.3.2. O uso das coberturas naturadas na integração dos processos construtivos

A construção de uma cobertura requer uma série de componentes. Para a utilização correta das coberturas naturadas, pode ser necessário a substituição de alguns desses componentes por outros, que podem ser ambientalmente melhores. O seu uso pode também eliminar a necessidade do isolamento térmico, onde geralmente é utilizado o isopor ou seus derivados. De fato, a utilização das coberturas naturadas, agrega a utilização de dois novos materiais: o substrato e a vegetação. Estes elementos podem estar disponíveis no próprio sítio do empreendimento, mas na maioria dos casos, tanto o substrato quanto a vegetação, são transportados de outro local.

Há uma preferência na utilização de sistemas, aonde a planta e o substrato já venham preparados, para serem simplesmente montados na cobertura da edificação, pois assim o período crítico inicial de desenvolvimento da planta é superado. No Brasil a empresa ECOTELHADO (2007), do Rio Grande do Sul, prepara módulos de substrato em caixas de cimento ou vasos, onde as plantas são cultivadas, e só após 3 meses, são transportadas para a cidade de destino. Outra vantagem da utilização deste

sistema é a possibilidade de retirada parcial do sistema para que seja executada alguma manutenção na cobertura, e depois a sua recolocação.

A questão do custo da cobertura naturada ainda é um ponto a ser melhor trabalhado e compreendido quando da integração dos processos a que se refere este Alvo.

Na Alemanha, onde já existe configurada toda uma indústria de serviços e execução de coberturas naturadas, o que facilita muito o seu uso e reduz significativamente os seus custos. O mesmo não ocorre no Brasil. O custo inicial das coberturas naturadas é maior que o das coberturas que utilizam outros sistemas mais comuns de impermeabilização, por este motivo, estes custos devem ser analisados a longo prazo. Na Alemanha, os custos de todos os componentes para a execução de coberturas naturadas extensivas, incluindo a execução, estão entre US\$ 8/m² a US\$ 15/m². Para os mesmos materiais, os custos são de US\$ 15/m² a US\$ 20/m² nos Estados Unidos, devido à baixa demanda. (Scholz-Barth, 2000). A empresa ecotelhado oferece o seu sistema completo no Rio de Janeiro e São Paulo por R\$ 70/m² (ECOTELHADO, 2007).

Patterson (1998) menciona que mesmo que os custos iniciais das coberturas naturadas sejam de 3 a 6 vezes o custo inicial de um sistema de cobertura tradicional, a longo prazo, as coberturas naturadas podem ser mais econômicas.

Uma análise comparativa foi realizada por Wong (2003b) na cidade de Cingapura, no ano de 2003, considerando todos os elementos que agregam custo aos sistemas, tanto de implantação, quanto de manutenção. Todos os valores para cada um dos elementos foram levantados com construtores locais, e os custos de manutenção utilizados de um período de 10 anos. Foram também considerados os custos energéticos.

Analisando os custos iniciais encontrados por Wong, para os sistemas, foram obtidos os seguintes valores:

Cobertura Naturada Extensiva: US\$ 89,86 /m²

Cobertura Naturada Intensiva com Arbustos: US\$ 178,93 /m²

Cobertura Naturada Intensiva com Árvores: US\$ 197,16 /m²

Cobertura de Laje Plana Exposta: US\$ 49,35 / m²

Cobertura de Laje Plana com Isolamento Térmico: US\$ 131,60 /m²

Assim, em Cingapura, os custos iniciais de uma cobertura naturada extensiva são 82% maiores que de uma cobertura plana exposta (sem nenhum tipo de proteção térmica).

Analisando todo o ciclo de vida das coberturas, incluindo a manutenção necessária, as coberturas naturadas extensivas têm um custo 2% maior que das coberturas planas expostas (Wong, 2003b).

Entretanto, incluindo nesta equação os custos energéticos de gestão do ambiente interno resultante é possível observar que as coberturas naturadas promovem uma redução do consumo de energia, devido ao melhor isolamento térmico, e conseqüentemente redução do uso de sistemas artificiais de refrigeração.

Considerando todos os custos, inclusive para a energia elétrica, em Cingapura, chegou-se a conclusão que as coberturas naturadas extensivas, em longo prazo, têm o mesmo custo, que as coberturas planas expostas. As coberturas naturadas intensivas, apesar da grande diferença de custos, devido ao tipo de vegetação, são sempre mais caras que a utilização de sistemas tradicionais de coberturas (Wong, 2003).

Embora os valores encontrados por Wong, para os materiais e mão-de-obra, possam variar quando levantados em outras cidades, podemos utilizá-los como referência comparativa. Os resultados detalhados obtidos por Wong se encontram no Anexo J.

As coberturas naturadas ainda podem colaborar com o alvo 2, através de outros atributos:

- As plantas possuem auto-regeneração. A sua vida útil depende das condições do local e da gestão;
- A produção do substrato e das plantas pode ser feita de forma a consumir pouca energia, a consumir poucos recursos, e impactar pouco no ambiente;
- O substrato e as plantas, por serem materiais orgânicos, têm uma biodegradabilidade muito rápida, caso sejam descartados.
- O uso das coberturas naturadas pode prolongar a vida útil da impermeabilização e dos outros componentes construtivos da cobertura, protegendo da radiação solar e da chuva.

3.4. Gestão de Energia – Alvo 04

3.4.1. Introdução

Este alvo abrange a previsão da gestão do consumo de energia, visando à redução dos impactos energéticos, no uso adequado de equipamentos elétricos, produção de água quente, iluminação e condicionamento de ar. A política de qualidade ambiental objetiva o desenvolvimento de fontes renováveis de energia e a utilização de tecnologias “limpas” e equipamentos que conservem energia.

Dentre as contribuições oferecidas com o uso das coberturas naturadas, se destacam duas, que colaboram para a redução do consumo de energia: a regulação da temperatura externa e a regulação da temperatura interna, através da inércia e do isolamento térmico. Estes dois atributos também podem contribuir no conforto higrotérmico dos ambientes, e por este motivo também influenciam no Alvo 8. As questões relacionadas ao isolamento térmico das coberturas são tratadas no capítulo 3.9.

3.4.2. Regulação da Temperatura Externa

Como mencionado na introdução da dissertação e segundo o IPCC (2007), as mudanças climáticas globais têm mostrado impactos significativos em diversos locais do mundo, e as previsões para os próximos anos não são boas. Uma das causas do aquecimento global é a diminuição das áreas de vegetação, e suas conseqüências.

As grandes concentrações urbanas promovem mudanças climáticas locais, elevando a temperatura, e modificando a qualidade do ar das cidades. As superfícies de concreto e o asfalto refletem e absorvem a radiação solar durante o dia, liberando radiação à noite.

O grande escoamento das chuvas pelos sistemas de esgoto promove a falta de áreas dispersas retentoras de água. As águas retidas e acumuladas pelas áreas ajardinadas, rios e lagos ajudam no resfriamento do ar.

A concentração e altura das edificações dificultam a permeabilidade do vento, concentrando gases poluentes, e não permitindo a renovação do ar quente. Nas noites de verão, se alcançam nos centros das grandes cidades, temperaturas do ar em

média 4°C a 11°C mais altas que nos subúrbios. Diversos autores têm estudado este efeito (Mestayer 1994; Akbari, 2001), denominado de "Ilhas de Calor" ("Heat Islands").

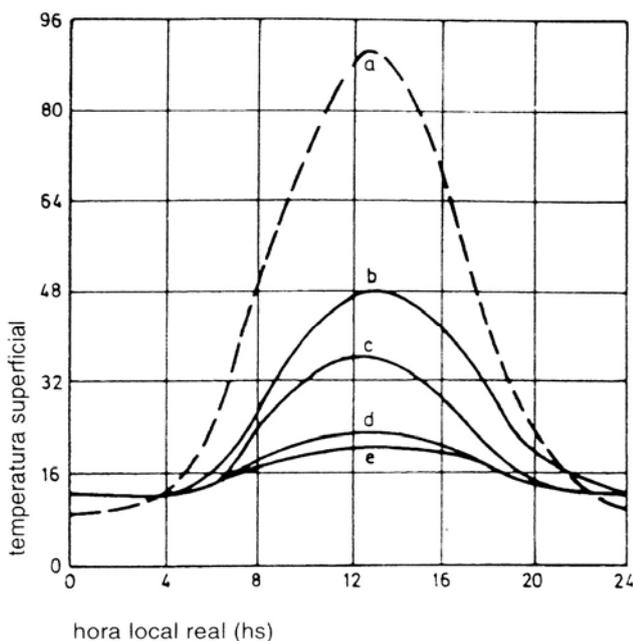
As coberturas naturadas podem contribuir com a introdução de áreas com vegetação, e conseqüentemente, áreas para retenção de água, dentro das grandes cidades, ou áreas muito urbanizadas.

É por meio da evaporação da água, da fotossíntese, e da capacidade de armazenar calor da própria água, que a planta extrai o calor do ambiente. Segundo Minke, dependendo das condições locais, este efeito de esfriamento, que se faz perceptível principalmente nos dias mais quentes do verão, podem demandar até 90% da energia solar. (Minke, 2004; Honjo, 1991)

Segundo Krunche (1982), da radiação que atinge uma cobertura vegetal, aproximadamente 27% é refletido, 60% é absorvido pelas plantas e pelo substrato através da evapotranspiração e 13% é transmitido para a base de suporte.

A evaporação de um litro de água consome aproximadamente 2,2 MJ (530 cal) de energia. A condensação do vapor de água na atmosfera passa a formar nuvens, onde a mesma quantidade de energia é liberada novamente. O mesmo acontece quando à noite a umidade nas plantas é condensada. A formação do orvalho matinal nas fachadas e tetos verdes traz junto uma recuperação do calor.

Portanto, segundo Minke (2004), as plantas podem sozinhas, através da evaporação e da condensação da água, reduzir as oscilações de temperatura. Este processo se fortalece ainda mais pela grande capacidade de armazenamento do calor da água existente nas plantas e no substrato, assim como através da fotossíntese.



- a – revestimento betuminoso negro
- b – cascalho, cor clara
- c – pintura clara reflexiva
- d – cobertura vegetal saturada
- e – cobertura vegetal seca

Figura 20 – Temperaturas (°C) medidas ao longo de um dia, em diferentes superfícies sobre um teto plano, em um dia ensolarado de verão, em uma edificação na Alemanha. (Gertis, 1977)

3.4.3. Experiências Em Clima Tropical Úmido

Diversos estudos foram realizadas com as coberturas naturadas na Alemanha, o que resultou na maior parte da bibliografia disponível sobre o assunto. Porém, os resultados obtidos nestes estudos refletem a realidade da utilização das coberturas naturadas em países com as mesmas condições climáticas da Alemanha, e podem não ser válidas, por exemplo, em países com clima tropical úmido. De acordo com Yeo (2001), ao contrário da Alemanha, a maioria dos países de clima tropical úmido não apresenta grandes variações sazonais, favorecendo muito o crescimento de vegetação.

Em países de clima tropical úmido, Cingapura tem apresentado muitas pesquisas e incentivo dos órgãos públicos, na divulgação e utilização das coberturas naturadas. Cingapura é um pequeno país do sudeste asiático, formado por uma grande ilha e outras ilhas menores secundárias, ao sul da península da Malaia. A sua capital, também denominada Cingapura, está localizada na Latitude 1º Norte e Longitude 103º Leste. A cidade possui fama internacional de "a cidade jardim", devido ao grande incentivo do governo de implantar grandes quantidades de área verde (Yeo, 2001). Com uma população de mais de 4 milhões de habitantes em uma área de apenas 682 km², a tendência é que a densidade de construções da cidade aumente muito. Entretanto, para manter a qualidade ambiental, o equilíbrio entre as áreas verdes e as áreas de concreto deve estar balanceado. Assim, novas formas de tornar as cidades mais verdes estão sendo desenvolvidas e pesquisadas, e entre elas as coberturas vegetais. Hoje, o governo determina através do órgão NParks (National Parks Board), que para cada 1000 habitantes, deve haver uma área correspondente de 0,75ha de área verde.

Wong (2003b) realizou experimentos de campo em uma edificação comercial em Cingapura, utilizando uma cobertura naturada intensiva, com árvores, arbustos e gramíneas. Foram medidas as temperaturas em 15 pontos (ver figura 21) em áreas com vegetação, áreas somente com solo e áreas de laje descoberta.

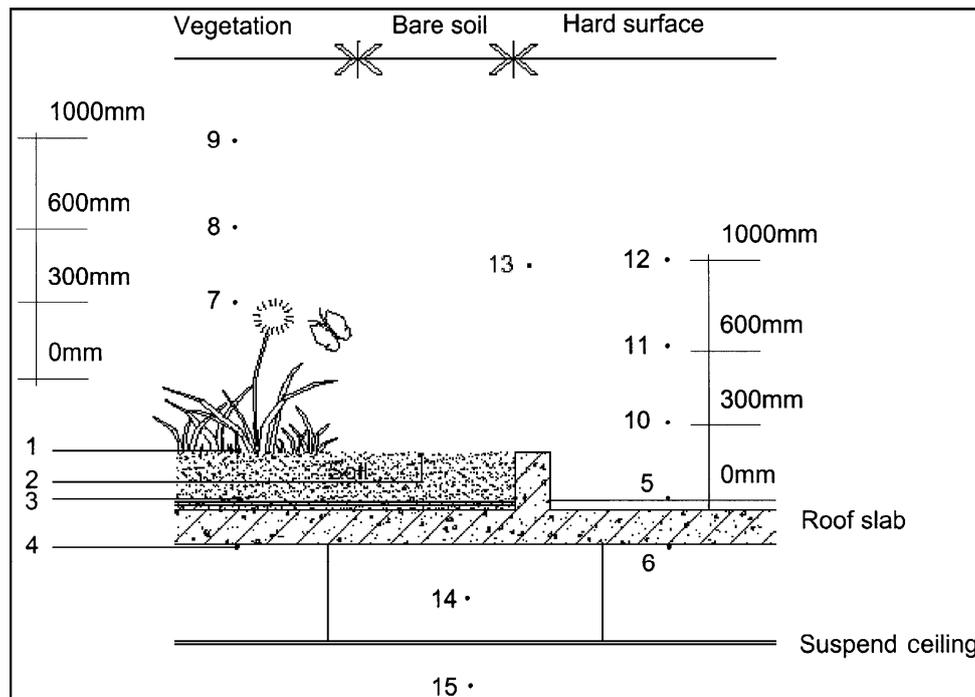


Figura 21 - Pontos medidos na experiência de campo (Wong, 2003).

Estas medições foram feitas também em pontos sobre seis diferentes tipos de vegetação: Heliconia, Spider Lily, Ophiopogon, Raphis palm, Pandanus, e Erythrina.

A temperatura máxima medida sobre a laje plana foi de 57° quando a incidência de radiação solar esteve a 1400 W/m², e a máxima variação de temperatura foi de 30° C. Para a área com solo sem vegetação, a temperatura máxima medida foi de 42° C e a variação máxima encontrada em um mesmo dia foi de 20° C.

Foram encontradas temperaturas maiores sobre as vegetações mais esparsas, enquanto menores temperaturas foram encontradas sobre vegetações mais densas, porém independente do tipo de vegetação, a maior temperatura medida foi de 36° C.

Para a Ralphis Palm, o arbusto mais denso utilizado, a máxima variação de temperatura obtida durante o dia foi de 3° C, e a temperatura máxima medida foi de 26,5° C, muito abaixo dos valores medidos para a laje plana e a laje recoberta com solo sem vegetação.

Do ponto de vista da proteção térmica, é desejável que sejam utilizadas plantas mais densas possíveis, como árvores e grandes arbustos. Porém, a utilização destes tipos de vegetação além de necessitar de maior manutenção, aumenta muito a carga sobre as lajes (ver capítulo 2.2.1), promovendo um encarecimento do sistema.

Devido ao sombreamento causado pelas plantas, a absorção de calor é muito menor que de áreas descobertas, porém durante a noite a liberação do calor medida

foi praticamente a mesma para a área com vegetação e a área sem vegetação, o que demonstra que a capacidade de retenção do calor das plantas é pequena.

Tipo de Cobertura	Calor Absorvido	Calor Liberado
Laje Plana	366 kJ/m ²	4,2 kJ /m ²
Laje Plana com substrato	86,6 kJ/m ²	58 kJ /m ²
Turfa	29,2 kJ / m ²	62 kJ /m ²
Árvore	15,6 kJ /2	53 kJ /m ²
Arbusto	0 kJ /m ²	104 kJ /m ²

Tabela 3 - Comparação entre calor absorvido e calor liberado por metro quadrado para diferentes tipos de superfície durante um dia típico (Wong, 2003).

Para medir os efeitos térmicos promovidos para o ambiente externo foram medidas as temperaturas nas alturas de 30, 60 e 100 cm (pontos 10, 11 e 12 da figura 21), acima do plano da cobertura.

Foram medidas altas temperaturas tanto acima da laje plana, quanto da cobertura vegetal durante o período diurno.

Após 18:30, houve uma significativa diminuição da temperatura, sobre a cobertura vegetal, sendo que quanto mais próximo da vegetação, menor a temperatura, o que indica que a vegetação resfriou o ar ambiente continuamente até o por do sol do dia seguinte.

Acima da laje plana houve uma pequena diminuição da temperatura após o horário de 18:30, e a medição mais próxima da laje esteve sempre com temperaturas mais altas, o que comprova que o calor absorvido está sendo devolvido ao ar ambiente. (Wong, 2003)

3.5. Gestão da Água – Alvo 05

3.5.1. Introdução

O Alvo 5 trata da previsão pelo empreendedor da correta gestão do uso da água potável, desde a captação e reutilização das águas de chuva, até no armazenamento, filtragem e reutilização da água já utilizada.

As coberturas naturadas podem colaborar com a gestão da água através das seguintes formas:

- Armazenamento da água no substrato;
- Armazenamento da água pelas plantas;
- Absorção parcial da água para utilização pelas plantas;
- Filtragem da água pelas plantas;

Como consequência desta colaboração ocorre:

- Diminuição do fluxo de escoamento das águas de chuvas;
- Diminuição da quantidade de água de chuva escoada;
- Colaboração na diminuição das enchentes urbanas;
- Alteração da qualidade da água de chuva escoada para o seu aproveitamento;

Como a filtragem da água de chuva pelas plantas colabora com o seu aproveitamento, há uma economia de água potável, e por este motivo este atributo das coberturas naturadas também influencia no alvo 14.

3.5.2. Diminuição do fluxo de escoamento das águas de chuvas

Enchentes e inundações são acontecimentos que há muito tempo preocupam as grandes cidades. Porém, o tratamento do problema das cheias urbanas vem sofrendo drásticas alterações nas últimas décadas, sob o ponto de vista da engenharia de recursos hídricos, sendo a escassez ou excesso de água, ou melhor, sua quantidade, característica totalmente indissociável da sua qualidade. Nas inundações urbanas há obviamente os dois problemas concomitantes, porque as águas das enchentes são em

geral contaminadas, e afetam a saúde da população tanto ou mais do que as próprias inundações.

Portanto, o padrão de drenagem é irremediavelmente alterado, resultando em drásticas mudanças do perfil hidrológico (figura 22), destacando-se:

- Incremento do volume de escoamento superficial da chuva;
- Decréscimo do tempo de concentração da bacia;
- Redução da recarga dos lençóis de água subterrâneos;
- Incremento da freqüência e duração de elevados fluxos d'água em córregos e rios no período chuvoso;
- Incremento da freqüência e duração do alagamento das várzeas e áreas contíguas aos corpos d'água no período chuvoso;
- Aumento na velocidade dos rios.

Para Schueler (2001), o conceito moderno de combate às enchentes encontra-se amarrado à necessidade de fazer os volumes escoados nas bacias urbanas se aproximarem o mais possível dos valores anteriores à ocupação e urbanização descontroladas e desordenadas.

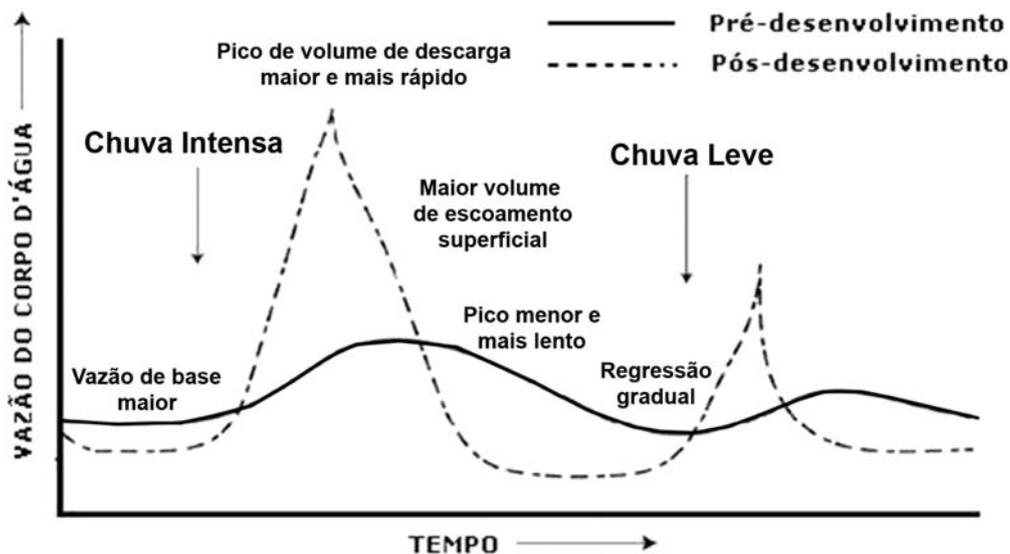


Figura 22 - Efeitos da urbanização no escoamento superficial (fonte: <http://www.ambientebrasil.com.br> - acessado em 10 junho 2007)

Uma cobertura vegetal com 20 cm de substrato, composto por terra e argila expandida, segundo Dürr (1995), pode armazenar 90 mm de água (90 litros por metro quadrado). Devido a esta capacidade de retenção da água, é possível diminuir os altos picos do fluxo da água de chuva. Segundo as normas alemãs DIN, o

“coeficiente de deságüe” de águas pluviais para superfícies ajardinadas com no mínimo 10 cm de espessura, é de 0.3, o que significa que somente 30% da chuva precipitada deságua e 70% é retida para utilização das plantas ou é evaporada. Mas para uma cobertura com mais de 3° de inclinação, o deságüe será de 100%, de acordo com Minke (2004).

Medições feitas por Katzschnet (1991), na Universidade de Kassel, na Alemanha, indicam que o atraso do deságüe das chuvas logo após uma forte chuva é o momento mais decisivo para o alívio do sistema. Em uma cobertura naturada com 12° de inclinação e 14 cm de espessura de substrato, depois de uma forte chuva de 18 horas de duração, mediu-se um atraso de 12 horas do deságüe pluvial. O término do deságüe ocorreu 21 horas após o término da chuva.

Em um ensaio realizado pelo Instituto do Estado Federal da Baviera para viticultura e horticultura em Veitshöchheim, na Alemanha, se mediu, que um substrato de somente 10 cm de espessura, para uma intensidade de chuva de 20 l/m² em 15 minutos, somente desaguou 5 l/m², contra 16 l/m², medido ao mesmo tempo, em uma cobertura plana com brita.

Kolb (2003) aponta ainda para uma redução maior do volume de água conduzida aos sistemas públicos de drenagem urbanos, mas em contrapartida, os sistemas de aproveitamento de água pluvial passam a ter sua eficiência reduzida, com perda da ordem de 50% para coberturas extensivas (camada orgânica e mineral de 10 cm de espessura) e 70% para coberturas intensivas (três camadas de 10 cm de espessura).

3.6. Gestão de Rejeitos / Sobras de Atividades - Alvo 06

Este alvo abrange a gestão de todos os resíduos produzidos em todas as etapas de construção e do uso da edificação e de seus usuários. É desejável que os resíduos sejam aproveitados, sejam através da reciclagem ou como combustíveis. Devem ser utilizados equipamentos e métodos adequados para o armazenamento e a transformação destes resíduos. Métodos de conscientização dos usuários quanto à questão da diminuição da geração de lixo e separação adequada dos seus tipos também são importantes.

Segundo Kortright (2001), em muitos países europeus, onde as taxas pela produção de lixo são individuais e muito caras, torna-se extremamente importante a máxima diminuição da sua produção. Assim, muitas pessoas utilizam parte de seu lixo orgânico para adubar a vegetação em suas coberturas.

De acordo com o TFPC (Toronto Food Production Council), 15% a 20% do lixo sólido produzido na cidade de Toronto é originado de alimentos, e poderia ser utilizado na chamada "agricultura orgânica". Além disso, a utilização de restos de alimento como adubo, nas coberturas naturadas, substitui o uso de produtos químicos fertilizantes.

3.7. Limpeza e Manutenção - Alvo 07

3.7.1. Introdução

O Alvo 7 trata das questões relativas à facilitação da limpeza e da manutenção da edificação e de seus equipamentos.

A manutenção necessária nos materiais utilizados em uma construção deve afetar o mínimo possível o ambiente. Os produtos utilizados na manutenção não devem poluir o ar e a água, e os equipamentos devem estar sempre regulados, evitando ruídos e consumo de energia. Elementos móveis são os mais preocupantes, como elevadores, portas e janelas. Os procedimentos necessários para a realização de manutenção e limpeza devem ser o mais simples e menos agressivos possíveis.

3.7.2. A Contribuição das Coberturas Naturadas na Manutenção das Edificações

A vida útil das coberturas, sejam de materiais betuminosos, telhas cerâmicas, metálicas, amianto, ou outros, é influenciada pelo tempo. O calor, o frio, a chuva, raios ultravioleta, vento, assim como substâncias químicas existentes no ar, causam danos mecânicos e/ou processos de decomposição químicos e biológicos. Segundo Minke (2004), os materiais betuminosos nas coberturas precisam suportar, na Europa, diferenças de temperatura de quase 100°C (-20°C a 80°C).

Neste contexto, a manutenção da camada de impermeabilização das coberturas pode ser reduzida, através da utilização das coberturas vegetais. O uso da vegetação ameniza as temperaturas extremas da superfície da cobertura, a protege da radiação ultravioleta (UV) e de danos mecânicos. De acordo com Scholz-Barth (2000), o resultado é a extensão da sua vida útil em mais de duas vezes.

Mesmo com o aumento da vida útil da cobertura, a manutenção ainda se faz necessária. Para ser feita a manutenção da camada de impermeabilização, ou a sua troca, é necessária a retirada de toda a vegetação e substrato existente, o que é considerado um dos principais problemas do uso das coberturas naturadas no Brasil. A solução, em muitos casos, é a do uso de vasos ou caixas modulares, que montados

lado a lado, podem ser retirados com maior facilidade, e colocados novamente no mesmo local, depois de feita a manutenção (ECOTELHADO, 2007).

3.8. Conforto Higrotérmico - Alvo 08

3.8.1. Introdução

Existem quatro fatores físicos que determinam o conforto higrotérmico dos ambientes: a temperatura, a umidade e a velocidade do ar, e a temperatura das superfícies, que o cercam. Estes condicionantes dependem das características da construção e da influência dos sistemas naturais e artificiais de condicionamento de ar.

Algumas escolhas feitas no projeto que influenciam o conforto higrotérmico são a posição e dimensão das superfícies, as proteções contra o sol, a escolha dos materiais de revestimento, e dos materiais de isolamento.

3.8.2. Isolamento Térmico

É através das coberturas que entra boa parte do calor para dentro das edificações, assimilado pela constante absorção da radiação solar pela laje ou telhado.¹

As Coberturas Naturadas promovem efeito de isolamento térmico, devido aos seguintes fenômenos observados na camada do substrato e vegetação:

Uma parte da radiação solar de ondas longas é refletida pelas folhas e outra parte é absorvida. Assim se diminui o ganho de calor por radiação no edifício, da mesma forma que parte da radiação de ondas longas emitida pelo edifício é refletida pelas folhas e outra parte é absorvida, assim diminuindo a perda de calor por radiação do edifício. (Aravantinos, 2002; Minke, 2004)

¹ No Brasil, na grande parte das construções, não são tomados os devidos cuidados com a cobertura, região mais agredida pelos fatores externos. As proteções contra intempéries, radiação, calor e impermeabilização são menosprezadas, possivelmente por ser uma região de pouca visibilidade e/ou pouca utilização. Por este motivo, acaba sendo necessária, uma manutenção periódica, que normalmente não é realizada ocasionando constantes problemas.

O colchão de ar formado entre as folhas das plantas faz o efeito de uma camada de isolante térmico. Quanto mais densa e alta for a vegetação, maior será o efeito de isolamento.

Através de estudos feitos por Minke (2004) em diversas edificações por ele construídas, a utilização de uma vegetação densa impede que o vento chegue à superfície do substrato. Sem o movimento do ar nesta região, a perda do calor pelo efeito do vento pode chegar à zero. Sem um bom isolamento térmico, a perda de calor por convecção (em particular pelo vento) pode ser maior que 50%.

Em algumas épocas do ano, o frio matinal condensa a água contida no ar, formando uma superfície de água nas folhas das plantas, processo conhecido como orvalho. O orvalho aumenta a temperatura das plantas, pois para cada grama de água condensada nas suas folhas, as plantas absorvem 530 calorias. Deste modo, a perda de calor para o exterior é reduzida.

Em regiões com intensa incidência de radiação solar e climas quentes, o efeito de isolamento para evitar o aquecimento das edificações é mais notório que o efeito de isolamento contra a perda de calor em climas frios. Na Alemanha se comprovaram que com temperaturas exteriores de 30°, a temperatura máxima atingida pelo substrato foi de 25°. Isto se deve principalmente pelo sombreamento promovido pelas folhas, e pelo uso que a vegetação faz da radiação solar para a evaporação da água, pela reflexão e pela fotossíntese.

As figuras 23 e 24 mostram as variações térmicas em uma cobertura verde, em Kessel, na Alemanha, comprovando a eficácia do efeito de isolamento térmico, tanto no verão, quanto no inverno. (Al Sanea, 2002; Allen, 2003)

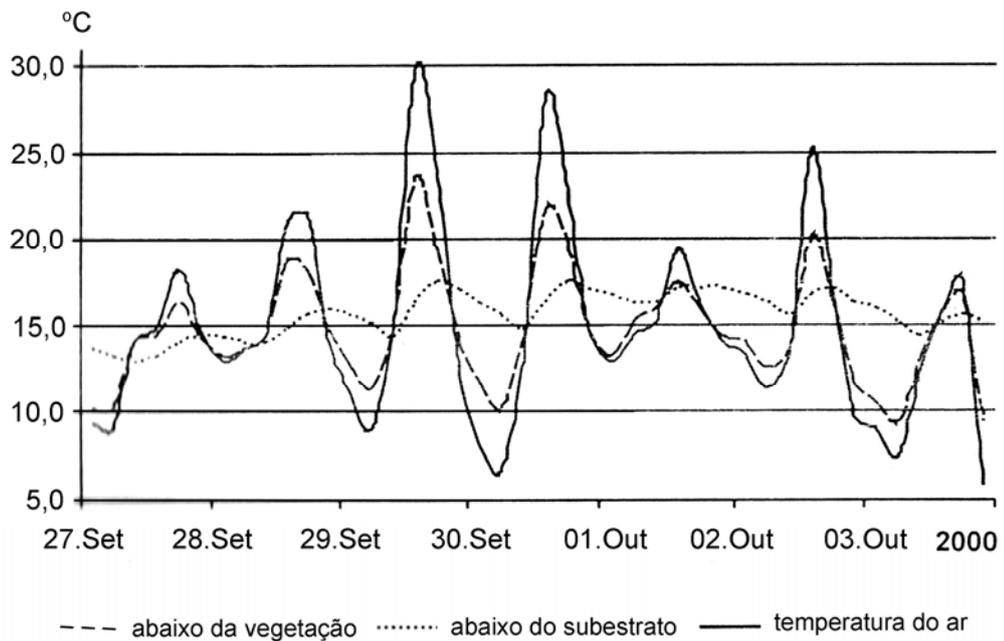


Figura 23 - Temperaturas de uma cobertura verde com substrato de 16 cm medidas durante uma semana de verão em Kassel, na Alemanha. (Minke, 2004)

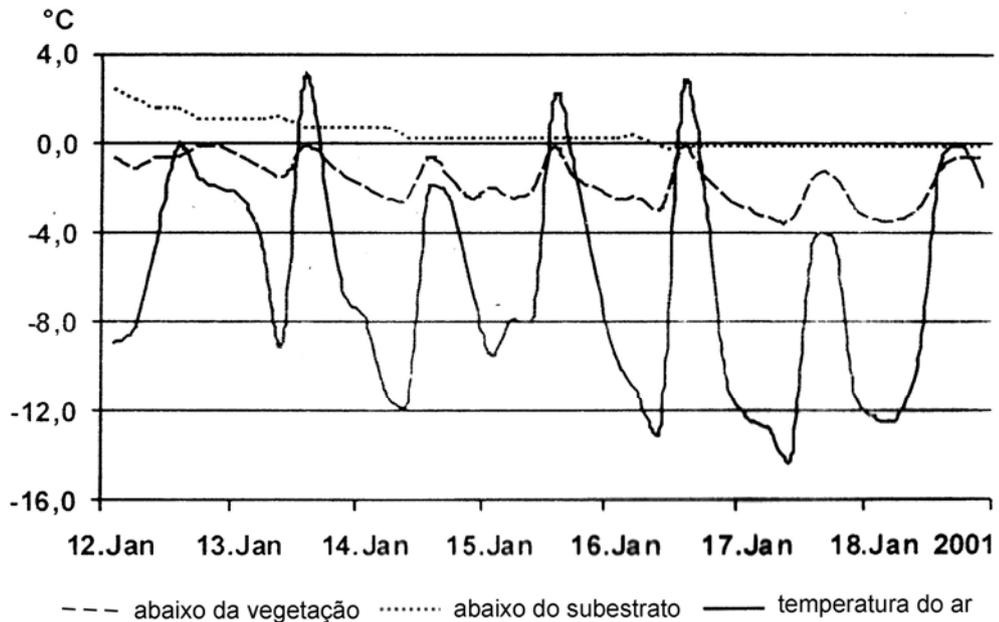


Figura 24 - Temperaturas de uma cobertura verde com substrato de 16 cm medidas durante uma semana de inverno em Kassel, na Alemanha. (Minke, 2004)

As plantas também reduzem potencialmente as variações de umidade. Ainda segundo Minke (2004), particularmente quando o ar está seco, evapora uma considerável quantidade de água e se eleva a umidade relativa do ar. Um hectare de um pomar evapora em um dia quente de verão, aproximadamente 1500 m³ de água.

3.8.3.Experiências Em Clima Tropical Úmido

As experiências documentadas em clima tropical úmido trazem algumas diferenças das respostas encontradas nas literaturas de países frios.

Filho (2007) realizou uma simulação no projeto do centro de informações do CRESESB/Eletróbrás, no Rio de Janeiro, utilizando o software americano VisualDOE 4.1, comparando a eficiência térmica durante um ano típico, em vários tipos de cobertura. O software VisualDOE não possui um algoritmo específico para as coberturas naturadas, e por este motivo, foi necessário a configuração da cobertura naturada como um material construtivo convencional. As configurações utilizadas foram:

- Tipo de vegetação empregada: grama (9 cm)
- Espessura da camada do solo (100% de umidade): 8 cm
- Espessura da camada do filtro: 0.10 cm
- Espessura da camada de drenagem: 5.0 cm
- Espessura da laje impermeabilizada: 12 cm
- Caimento da coberta (inclinação): 22 %.
- Área Total da coberta: 80.95 m²
- Custo por m² (TCPO Ago. 2007): R\$ 296,26
- Custo Total: R\$ 23.982,37
- Valor do R-value: 3.57 [m².K/W]
- Valor do U-Value: 0.28 [W/m².K]

As coberturas utilizadas na comparação foram a laje de concreto impermeabilizada, a telha metálica sanduíche, telha cerâmica, e laje de concreto impermeabilizada com isolamento térmico.

Filho avaliou o consumo de ar-condicionado na edificação, chegando aos seguintes resultados comparativos:

Comparação do Desempenho Termoenergético das Coberturas					
Tipo de Cobertura	Consumo anual total de E.E. de ar-condicionado [kWh/ano]	Consumo anual total de E.E. [kWh/ano]	% do uso final de ar-condicionado em relação ao Consumo anual Total	% do desempenho em relação à Cobertura Naturada. (aumento no consumo total de E.E.)	% do desempenho em relação à Cobertura Naturada. (aumento no consumo total de E.E. por uso final de E.E.)
1. Caso Base - Cobertura Naturada.	1.852,00	13.222,00	14.01%	-	-
2. Alternativa 02 - Telha Metálica com Isolamento Térmico.	2.104,00	13.474,00	15.62%	+ 1.91%	+13.61%
3. Alternativa 04 - Laje de Concreto Imp. com Isol. Térmico.	2.370,00	13.740,00	17.25%	+ 3.92%	+27.97%
4. Alternativa 03 - Telha Cerâmica.	2.680,00	14.050,00	19.07%	+ 6.26%	+44.71%
5. Alternativa 01 - Laje de Concreto Impermeabilizada.	2.983,00	14.353,00	20.78%	+ 8.55%	+61.07%

Tabela 4 - Comparação do Desempenho Termoenergético das Coberturas (Filho, 2007).

Verifica-se que a necessidade de utilização dos aparelhos de condicionamento de ar, para a edificação utilizando a cobertura naturada, foi inferior que com a utilização de outros tipos de cobertura. Porém, segundo Filho, esta diferença não foi significativa a ponto de justificar os custos de manutenção da cobertura naturada.

3.9. Conforto Acústico - Alvo 09

3.9.1. Introdução

Este alvo trata das questões relacionadas ao controle da produção, transmissão e isolamento de sons, admissíveis ou não, que direta ou indiretamente seja nociva à saúde, segurança e ao bem estar.

Uma das grandes fontes emissoras de ruído urbano é o trânsito. O próprio desenho urbano e os materiais utilizados nas construções são fatores predominantes na propagação dos ruídos, talvez devido às escolhas feitas de materiais reflexivos que facilitam a manutenção. De toda forma, observa-se pouca preocupação por parte dos órgãos públicos, dos arquitetos, e das construtoras na solução deste problema.

3.9.2. A Contribuição das Coberturas Naturadas no Conforto Acústico

As coberturas naturadas reduzem a propagação do ruído através da absorção, reflexão e dispersão do som. Nos chamados tetos verdes, em geral, o efeito da absorção acústica é maior devido ao substrato sobre o qual as plantas crescem. Para uma incidência perpendicular ao plano da cobertura, a capa de vegetação tem uma influência mínima para o som de alta frequência, enquanto que uma camada de substrato de 12 cm de terra diminui aproximadamente 40dB, e para uma camada de 20 cm de terra aproximadamente 46dB. (Minke, 2004).

Apesar disso, a vegetação como elemento acústico urbano acaba tendo um papel importante, por ser uma das poucas possibilidades existentes de absorção sonora possível de ser utilizada em ambientes externos. (tabela 5)

Coeficientes de Absorção Sonora de componentes de uma cobertura naturada						
Material	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ar (m ³)	0	0	0	0.003	0.007	0.023
Laje de Concreto	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Gramma, 10cm altura	0.11	0.26	0.60	0.69	0.92	0.99
Solo, Alta Densidade	0.15	0.25	0.40	0.55	0.60	0.60
Árvores, 2m ² 40m altura	0.03	0.06	0.11	0.17	0.27	0.31
Cascalho úmido e pouco compactado	0.25	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80

Tabela 5 - Coeficientes de Absorção Sonora de Materiais utilizados em Coberturas Naturadas (Egan, 1972).

Medições feitas sobre um teto plano ajardinado sobre um hospital em Karlsruhe (figura 25), na Alemanha, mostram que nas fachadas voltadas diretamente para o jardim desta cobertura, o ruído proveniente do trânsito do entorno diminuiu em 2 a 3 dB. Entretanto foram as frequências altas, consideradas mais incômodas, as mais absorvidas. (Minke, 2004)



Figura 25 - Cobertura do Hospital de Karlsruhe (Foto: Stephan Brenneisen, www.urbanhabitats.org/v04n01/img/wildlife_fig2_lg.jpg)

Testes realizados nos anos 90 pelo Departamento de Pesquisa e do Desenvolvimento de Rentokil, na Inglaterra, também demonstraram que as plantas podem absorver, refletir e dispersar o ruído de fundo nos edifícios. Porém, o efeito depende da frequência do som, do tipo de planta, da sua densidade, e da sua posição.

Para investigar mais detalhadamente os benefícios acústicos potenciais das plantas, outra pesquisa foi realizada por Costa (1995), na South Bank University, em Londres.

Para quantificar o efeito acústico, os coeficientes de absorção acústicos de uma série de espécies de plantas foram medidos e comparados com outros materiais do edifício (ver tabela 6)

Tabela de Coeficientes Acústicos						
Espécie de Planta	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ficus benamina	0.06	0.06	0.10	0.19	0.22	0.57
Howea forsteriana	0.21	0.11	0.09	0.22	0.11	0.08
Dracaena fragrans	0.13	0.14	0.12	0.12	0.16	0.11
Spathiphyllum wallisii	0.09	0.07	0.08	0.13	0.22	0.44
Dracaena marginata	0.13	0.03	0.16	0.08	0.14	0.47
Schefflera arboricola	-	0.13	0.06	0.22	0.23	0.47
Philodendron scandens	-	0.23	0.22	0.29	0.34	0.72

Tabela 6 - Tabela de Coeficientes Acústicos (Costa, 1995).

Os coeficientes são inferiores aos de diversos materiais utilizados em absorção acústica, mas dependendo do tipo de planta são bem consideráveis.

Segundo Costa (1995), algumas considerações podem ser feitas: plantas com grande densidade de pequenas folhas são melhores absorventes, proporcionam boa difração e reduzem o tempo de reverberação.

Em outro estudo realizado por Aylor (1972), através da medição de transmissões de sons aleatórios através de plantações de milho, e florestas de hemlock (árvore americana – Ohio), uma plantação de pinhos bem espaçados, uma densa mata e uma plantação de grãos, foi possível desenvolver um modelo capaz de estimar a redução do som para uma determinada frequência, para qualquer combinação de solo e vegetação.

As medições revelaram que a vegetação diminui substancialmente a transmissão do som, principalmente de alta freqüência, aumentando a sua eficiência, quanto maior a densidade de folhas, o seu tamanho e espessura.

Quando a vegetação possui poucas folhas, ou elas são pequenas, são os galhos que passam a influenciar mais na redução do som. A atenuação das baixas freqüências é feita basicamente pelo solo. Assim o conjunto folhas, galhos e solo, funcionam muito bem para a diminuição do ruído em várias bandas de freqüência.

Estudos realizados por Pao e Evans (1971), confirmando a eficácia do conjunto solo-folhas-galhos, provou que quanto mais próximo da camada do solo, maior a atenuação no som e quanto maior o ângulo de incidência das ondas sonoras em relação ao som, menor a atenuação do som. O mesmo som emitido quase que paralelamente ao solo pode reduzir em até 18 dB, enquanto que emitido a um ângulo de 20° em relação ao solo, reduz apenas 2 dB. Quanto mais poroso for o solo, maior a redução do som, e neste caso, a vegetação tem um papel fundamental, pois através de suas raízes, aumenta esta porosidade.

3.10. Qualidade do Ar - Alvo 13

1.1.1. Introdução

O alvo 13 procura garantir, do ponto de vista da decisão arquitetônica, a qualidade do ar nas edificações, em função de seu uso e da própria qualidade do ar disponível no exterior. Entre outras medidas, implica na utilização de técnicas e materiais construtivos, que não desprendam no ambiente, substâncias perigosas, como asbestos, metais tóxicos, radioativos, poeiras, etc., durante a sua construção, e também o controle da produção destas substâncias durante o uso da edificação. Também deve ser observado como evitar a contaminação dos ambientes pelo ar poluído externo.

A poluição do ar externo pode ser definida segundo Williamson (1973), como a presença de um ou mais contaminantes lançados na atmosfera, naturais ou devido às atividades humanas, em quantidades que possam causar danos ao homem, animais, plantas ou ao ambiente. Segundo Williamson, a atmosfera não é capaz de efetuar uma dispersão imediata do poluente, próximo ao seu lançamento. Somente depois de decorrido algum tempo, e em função das condições meteorológicas, é que estarão mais ou menos distribuídos uniformemente na atmosfera.

1.1.2. A Contribuição das Coberturas Naturadas na Qualidade do Ar

As plantas absorvem gás carbônico, relativamente abundante na atmosfera e eliminam oxigênio (Guillot, 1983). Porém, para a maioria dos seres vivos a grande concentração de oxigênio é fundamental para a sua sobrevivência. A mesma coisa ocorre com outros compostos como NO₂, nitratos, sulfatos e SO₂ que são indispensáveis em baixas concentrações para muitos organismos, mas chegam a ser prejudicial em altas concentrações.

Todo tipo de vegetação, inclusive nas coberturas naturadas, absorvem CO₂ do ar e liberam oxigênio. Isto ocorre no processo de fotossíntese, na qual 6 moléculas de CO₂ e 6 moléculas de H₂O, mediante um consumo de energia de 2,83 kJ, produzem 1

molécula de $C_6H_{12}O_6$ (glicose) e 6 moléculas de O_2 . No processo de respiração se produz CO_2 e se consome O_2 . Somente 1/5 a 1/3 das substâncias geradas pela fotossíntese são consumidas novamente. Enquanto as folhas verdes sobre as coberturas aumentarem, será gerado oxigênio e será consumido CO_2 . Segundo Minke (2004), se existir um equilíbrio entre o crescimento e a morte das plantas, ainda assim existirá a vantagem da extração do CO_2 do ar que fica armazenado nelas.

É possível observar que, ao longo dos últimos anos, vem crescendo a preocupação da população acerca dos possíveis efeitos adversos à saúde causados pela exposição à poluição do ar, particularmente nos grandes centros urbanos. Esta preocupação, porém, não é um fato recente. Os efeitos nocivos da poluição do ar vêm sendo mais claramente vivenciados desde o início da Revolução Industrial.

As principais categorias de fontes de poluição do ar feitas pelo homem são o transporte, a combustão e fontes estacionárias, processos industriais e resíduos sólidos.

Alguns poluentes são ainda liberados, independentes se eles são provenientes da queima de carvão e óleo em termoelétricas, fábricas, veículos a gasolina, lixo em incineradores e queima de vegetação.

Quando a concentração dos poluentes do ar aumenta, sem que ocorra a sua dispersão devido ao clima, topografia ou outros fatores, sérios problemas de saúde acabam ocorrendo.

Nestes casos ocorre a inversão térmica, segurando os poluentes próximos da superfície da terra causando mais morbidade e mortalidade do que o usual, especialmente, entre as pessoas mais velhas e naqueles já possuidores de condições cardiológicas e pulmonares deficitárias.

As estimativas de mortalidade devido à poluição do ar variam de 0,1% para 10%. Estes dados são indicativos da poluição norte americana e estimados pela Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos. No Brasil tais informações não existem e principalmente nas grandes cidades deveriam ser levantadas. As pessoas que vivem nas áreas urbanas têm um maior risco por estarem expostas aos poluentes do ar que podem afetar o seu bem estar.

Uma técnica que é usada de forma intuitiva há muito tempo e que tem sido modelizada cientificamente é a fitorremediação. Segundo Morikawa (2003), a Fitorremediação pode ser definida como o uso de plantas sozinhas ou associadas a microorganismos, para conter ou estabilizar vários contaminantes ambientais. A sua maior aplicação no passado foi no campo de solos e águas contaminadas. Entretanto

existem muitas investigações que provaram que plantas podem remover muitos poluentes (óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, material particulado, ozônio) do ar.

A redução da poluição do ar pelas plantas se dá de três maneiras diferentes:

- Absorção pelos estômatos das folhas > poluentes gasosos
- Adsorção pela superfície da planta > poluentes gasosos
- Deposição na superfície da planta > poluentes particulados

Como forma de maximizar as habilidades de absorção dos poluentes pelas plantas, um critério de seleção de plantas e aspectos paisagísticos devem ser considerados.

A habilidade das plantas de diminuir a poluição do ar é determinada por fatores específicos como área de folhas, morfologia de folhas, características de superfície e longevidade. Claro que a tolerância à poluição e clima urbanos é pré-requisito para o sucesso da plantação.

Superfícies aerodinamicamente ásperas favorecem a deposição de partículas. Plantas com troncos ásperos e superfície de folhas texturizadas são ideais para filtros de poluição de ar. Isto se aplica de certa maneira também para folhas pilosas ou exudativas. Maior a superfície de folhas e sua densidade, mais poluentes podem ser filtradas por absorção por estômatos, adsorção de superfície ou deposição.

A locação da vegetação afeta também a capacidade de filtração. Uma vegetação heterogênea com ervas arbustos e árvores com uma variação grande entre componentes é desejável. Esta vegetação conserva o frescor, a umidade micro climática e estas turbulências em pequena escala dão suporte a absorção, adsorção e deposição dos poluentes do ar.

A melhoria das condições de qualidades locais, também pode ser alcançada pela criação de áreas de sedimentação verde, que podem interceptar e capturar partículas do ar temporariamente até ser lavadas pela chuva ou cair ao solo. Em comparação com asfalto impermeável ou superfícies de concreto a quantidade de material suspensos na atmosfera em áreas verdes é bem mais baixo.

De acordo com Wolfgang (2007), as plantas podem descontaminar uma larga gama de substâncias perigosas, independente de estas substâncias serem de origem

natural ou antropogênicas. A instalação de filtros biológicos é muito mais barata em comparação a métodos físico-químicos.

Segundo Harazono (1991), a melhoria na qualidade do ar, proporcionada pelas coberturas verdes, beneficia diretamente pessoas que sofrem de asma e outras doenças respiratórias. O uso comum desse tipo de cobertura também estenderia a vida de toda infra-estrutura urbana suscetível à degradação devido à poluição atmosférica.

Por outro lado, os polens liberados por algumas espécies podem produzir reações alérgicas nas pessoas. Várias medições de polens são realizadas diariamente nos Estados Unidos principalmente nas estações onde há maior ocorrência. Essas medições servem como um indicador das quantidades de alergênicos do ar. Os animais podem também ser afetados pelos poluentes do ar. No passado, quando episódios agudos da poluição do ar produziam doenças nos homens, vários animais também se tornavam seriamente doentes e alguns morriam. Entretanto, os efeitos parecem ocorrer de forma variada, de acordo com a espécie do animal. (Williamson, 1973)

Embora agentes pró-ativos da qualidade do ar, as plantas também são afetadas por seus poluentes. Algumas são usadas como indicadores de poluentes do ar, porque demonstram um tipo característico de dano para um poluente específico. Os poluentes do ar entram nas folhas das plantas principalmente através dos seus poros ou estômatos. A extensão dos danos varia devido a vários fatores: as características dos poluentes (concentração, duração, propriedades físicas e químicas etc.); condições climáticas (temperatura, intensidade de luz, precipitação etc.); condições do solo (umidade, nutrientes etc.) e fatores biológicos (estágio de desenvolvimento, composição genética, insetos, doenças etc.). Os poluentes do ar afetam vários tipos de vegetação, incluindo as plantações na agricultura. Eles também afetam a agricultura através da diminuição do valor do produto (a qualidade pode ser afetada e a época de venda pode ser adiantada ou atrasada), ou aumenta o custo da produção (decréscimo do valor da plantação, pela necessidade de uso de fertilizantes e irrigação etc.)

Diferentes espécies de vegetação e variedades dentro das espécies diferem na sua suscetibilidade a poluentes particulares. Os principais poluentes que causam danos às plantas e algumas das espécies que são afetadas estão listados no anexo H.

3.11. Qualidade da Água - Alvo 14

3.11.1. Introdução

O objetivo deste alvo é analisar as condições de projeto que afetam a gestão da água, de forma a evitar o seu desperdício e garantir a sua qualidade. A qualidade da água pode ser obtida pela proteção da rede, o aperfeiçoamento e manutenção da qualidade de água nas edificações, o controle do uso da água potável e da sua rede e pelo aproveitamento e tratamento de fontes de água alternativas, como as águas de chuvas.

A poluição ou a contaminação das águas da chuva é influenciada fortemente pela ação antrópica, ou seja, aquela provocada pelo homem. A urbanização, com a elevada concentração das atividades econômicas da sociedade moderna em áreas relativamente pequenas como as cidades, geram altas concentrações de poluentes (como metais pesados e substâncias resultantes da queima de combustíveis), que em contato com a precipitação contamina-a, tornando-a inadequada para alguns usos. (Gould, 1999; Mirbagheri, 1997)

Mesmo em áreas rurais, a aplicação intensiva de fertilizantes, pesticidas, herbicidas ou inseticidas pode tornar a água de chuva imprópria para o seu uso (Macomber, 2001).

Padrões de qualidade da água em seus possíveis usos são determinados pelas diferentes nações de acordo com suas condições sócio-culturais, legais, econômicas e ainda, as relacionadas com a disponibilidade deste recurso.

3.11.2. A contribuição das Coberturas Naturadas na Qualidade da Água

A vegetação tem papel importante na filtragem e conseqüentemente, na melhoria da qualidade da água para o seu reuso. Muitos tipos de plantas acumulam em suas raízes metais pesados, como o Zinco, Cobre, Cádmio, e Chumbo (Johnston & Newton, 1996). Johnston e Newton obtiveram em seus experimentos, a redução da quantidade de Cádmio e Cobre em mais de 95%, e mais de 16% da quantidade de Zinco. Além dos metais pesados, pesquisas mostram outras substâncias retidas, como

Nitratos, fosfatos, NH₄-N e compostos orgânicos (Fritioff, 2005; Berndtsson, 2006). Um dos grandes benefícios da utilização das coberturas naturadas é a filtragem de partículas maiores que a água das chuvas carrega do ar.

Rola (2008) desenvolveu um experimento através da montagem de módulos de 1,20m x 1,20m com o sistema de naturação implantados no campus da UFRJ, no Rio de Janeiro. Durante o ano de 2005, foram monitoradas: a água da chuva (PP), a água residual de um módulo somente com substrato (PS), e a água residual de dois módulos com plantas (PA e PB). Comparando as amostras coletadas, pode-se chegar aos seguintes resultados:

Concentrações em $\mu\text{mol L}^{-1}$					
ÍONS		PP	PS	PA	PB
Cloreto	Cl ⁻	90,1	99,8	113,6	105,14
Amônia	NH ₄ ⁺	85,6	6,0	5,1	3,8
Sódio	Na ⁺	64,1	92,0	88,9	94,2
Potássio	K ⁺	49,5	133,2	121,5	139,1
Sulfato	SO ₄ ²⁻	26,7	63,1	56,1	70,6
Magnésio	Mg ²⁺	19,4	28,2	28,3	26,5
Nitrato	NO ₃ ⁻	17,4	138,4	0	0
Cálcio	Ca ²⁺	16,0	36,3	20,0	23,2

Tabela 7 – Concentração média dos íons presentes na água de chuva (PP) e nas águas resultantes (PS, PA e PB) do experimento, em $\mu\text{mol L}^{-1}$. (Rola, 2008)

Teemusk e Mander (2007) realizaram experimentos analisando a água coletada de duas coberturas na Estônia. As duas coberturas possuem a mesma área e inclinação, sendo uma composta apenas de impermeabilização e a outra composta da mesma impermeabilização, e de um sistema de cobertura naturada. Na cobertura naturada foram utilizadas diversas espécies de plantas, ocupando uma média de 45% da área da cobertura. As plantas mais utilizadas foram a Sedum acre (55%), Thymus serpyllum (20%), Dianthus carthusianorum (5%), Cerastium tomentosum (3%); e Veronica filiformis (7%).

O resultado destes experimentos está descrito na tabela 8.

Indicador	Tipo de Chuva	Amostras		
		Amostra 1 da Cobertura Naturada	Amostra 2 da Cobertura Naturada	Amostra da Cobertura Impermeabilizada
pH	Moderada	8.26	8.14	8.43
	Forte	7.94	7.85	6.73
BOD ₇ (mgO _l ⁻¹)	Moderada	5.3	4.1	7.0
	Forte	2.6	2.0	2.9
COD (mgO _l ⁻¹)	Moderada	37	26	43
	Forte	22	21	23
P (mg _l ⁻¹)	Moderada	0.036	0.026	0.104
	Forte	0.090	0.074	0.102
PO ₄ -P (mg _l ⁻¹)	Moderada	0.012	0.006	0.032
	Forte	0.036	0.066	0.054
N (mg _l ⁻¹)	Moderada	2.1	1.9	2.6
	Forte	1.2	1.3	1.4
NH ₄ -N (mg _l ⁻¹)	Moderada	0.33	0.28	0.43
	Forte	0.12	0.16	0.09
NO ₃ -N (mg _l ⁻¹)	Moderada	0.7	0.8	0.4
	Forte	0.46	0.42	0.19
SO ₄ (mg _l ⁻¹)	Moderada	38	34	3
	Forte	23	20	2
Ca-Mg (MG equiv.l ⁻¹)	Moderada	2.80	2.83	0.45
	Forte	2.15	2.14	0.12

Tabela 8 – Resultado das medições feitas nas amostras de água coletadas das coberturas (Teemusk e Mander, 2007).

Estudos realizados durante longos períodos em diversos tipos de cobertura, em comparação com as coberturas naturadas, mostraram que, quanto mais lento for o processo de deságüe (“runoff”) maior a absorção das substâncias pelas plantas. As chuvas consecutivas, mesmo quando leves, também influenciam na capacidade de filtragem das coberturas naturadas, pois o substrato está saturado, e a água é escoada com maior velocidade.

Também existem pontos negativos na utilização das coberturas naturadas: as plantas e o substrato acabam depositando outros compostos químicos, que não existiriam nas coberturas betuminosas (a utilização de fertilizantes para as plantas é um exemplo). Porém de uma maneira geral, há mais pontos positivos do que negativos, e conclui-se que as coberturas naturadas agem na melhoria da qualidade da água de chuvas. (Berndtsson, 2006).

3.12. Considerações

Através da análise das influências potenciais da cobertura naturada face os 14 alvos expostos, algumas contribuições destacam-se como mais significativas, em países de clima tropical úmido, dentre os quais é possível destacar as questões térmicas. Por este motivo, decidiu-se aprofundar as análises da eficiência das coberturas naturadas enquanto elemento de isolamento térmico, pois afetam nas questões de gestão de energia (Alvo 4), no conforto higrotérmico (Alvo 8), e na proteção da camada de impermeabilização da cobertura (Alvo 7).

4. MODELAGEM PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO DAS COBERTURAS NATURADAS

Os experimentos para comprovação da eficiência do isolamento térmico das coberturas naturadas, através da simulação real em edificações ou protótipos, é muito onerosa e demorada. Usualmente opta-se por utilizar simulações computacionais.

Ainda assim, a criação de um modelo matemático para o desempenho térmico do sistema de coberturas vegetais é muito complexo, pois a camada de vegetação possui uma distribuição espacial muito irregular e heterogênea, e variável de acordo com a espécie, clima, gestão, densidade, etc..

Considerando estas limitações, Barrio (1998) propõe um sistema simplificado permitindo que seja avaliado como cada característica do sistema influencia no potencial de resfriamento. A principal conclusão foi a de que um sistema bem planejado e executado pode ser um ótimo isolante térmico para altas temperaturas, reduzindo o fluxo de calor pela cobertura. A quantidade de superfície de folhas por unidade de volume (LAI) e a sua distribuição geométrica, determinam a transmissão da radiação, e conseqüentemente sua qualidade de sombreamento.

A espessura da camada de substrato, a variação da sua composição, e sua densidade aparente determina a sua difusividade térmica, ou seja, a relação da velocidade com que o calor se propaga e o seu volume.

Ainda segundo os modelos matemáticos de Barrio (1998), a composição ideal para o sistema seria quando da utilização de vegetação com uma quantidade grande de pequenas folhas, promovendo um grande sombreamento e fluxo de ar, sobre um solo de grande espessura, porém com baixa densidade, com grande porosidade, funcionando como bom isolante, sem pesar muito sobre a estrutura de suporte, o que será adotado neste trabalho.

Para auxiliar nas reflexões desta pesquisa, busou-se softwares de simulação térmica validados e referenciados, que trabalhem com a integração dos componentes vegetais e suas trocas higrotérmicas específicas.

4.1. ESCOLHA DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO: O PROGRAMA ENERGY PLUS E ECOTECH

Apesar de existirem modelos matemáticos que envolvam o funcionamento das plantas, poucas ferramentas estão disponíveis, que possam ajudar projetistas e arquitetos a quantificar a energia economizada, associada à variação da composição de um sistema completo de cobertura naturalizada (tipo de vegetação, tipo de solo, espessura das camadas, etc..)

O software EnergyPlus (ENERGYPLUS, 2007) é um programa de simulação de análise energética e trocas térmicas desenvolvido por universidades e órgãos públicos americanos. Tem sido muito utilizado por ser um software muito completo, com bases científicas confiáveis, é gratuito, e possui código aberto (pode ser alterado por qualquer programador).

O Energyplus foi criado a partir de dois softwares: BLAST e DOE-2, ambos utilizados na década de 70 e 80, e sua utilização era feita por engenheiros e arquitetos para determinar os sistemas de condicionamento de ar mais adequados.

O EnergyPlus teve sua versão 2.0 lançada em abril de 2007, e inclui dentre seus diversos algoritmos, as simulações necessárias, levando em consideração as coberturas naturalizadas.

O conjunto de algoritmos utilizado pelo EnergyPlus para simular as coberturas naturalizadas, chamado Ecoroof, foi desenvolvido pela Portland State University, pela equipe de David Sailor. É baseada nos modelos de vegetação da FASST, desenvolvidos por Frankenstein e Koenig para a US Army of Engineers.

O modelo do EnergyPlus leva em consideração as seguintes questões, em relação ao elemento vegetal:

- Troca das radiações de ondas curtas e ondas longas dentro da camada de vegetação
- Efeito da transferência de calor convectivo da camada de vegetação
- Evapotranspiração da vegetação e do substrato
- Condução e Armazenamento de calor na camada do substrato
- A interface do programa permite a entrada de dados como: densidade da camada vegetal, altura da planta, condutância dos estômatos, e umidade do substrato.

O modelo utilizado na versão 2.0 ainda inclui:

- Sistema de balanço de umidade, que permite a precipitação, irrigação e transporte de umidade entre duas camadas diferentes (área do topo e área das raízes);
- Balanço da energia do substrato e da área de vegetação baseado nos modelos da Army Corps Engineers FASST (Frankenstein, 2004);
- As equações de temperatura da Superfície do Solo (T_g) e folhagem (T_f) são resolvidas simultaneamente a cada passo, invertendo fórmula de transferência de calor por condução (CTF) para extrair a informação sobre o fluxo de calor para o cálculo do balanço de energia. (ENERGYPLUS, 2007)

Porém, o Energyplus não possui uma interface gráfica, e exige a entrada de muitas informações, se tornando de difícil utilização. Para minimizar esta dificuldade, foi utilizado outro software: o ECOTECT (ECOTECT, 2005).

Apesar de o ECOTECT ter seu próprio sistema de análise térmica, ele não foi ainda analisado pelo BESTEST¹, e os resultados obtidos podem não ser confiáveis, principalmente para o uso em países de clima tropical.

Mas devido a sua excelente interface gráfica e capacidade de exportar seus arquivos para o EnergyPlus, agiliza a entrada de dados necessária para a simulação (Neymark, 2002).

4.2. EMBASAMENTO TEÓRICO DO ENERGYPLUS

O Programa considera que da mesma forma que em uma cobertura tradicional, o balanço de energia em uma cobertura naturada é dominado pela radiação solar. Esta radiação solar é balanceada pelo fluxo do calor sensível (convecção), e pelo fluxo do calor latente (evaporação) do solo e da superfície das plantas combinada com a condução de calor dentro do substrato. Este balanço energético é ilustrado na figura 26. (ENERGYPLUS, 2007)

¹ O BESTEST é um projeto organizado pela IEA com a participação de especialistas de vários países do mundo em Aquecimento Solar e Refrigeração, que têm como objetivo criar ferramentas de avaliação e certificação de softwares. O projeto analisa os softwares existentes no mercado, procurando determinar os seus pontos fracos e corrigi-los.

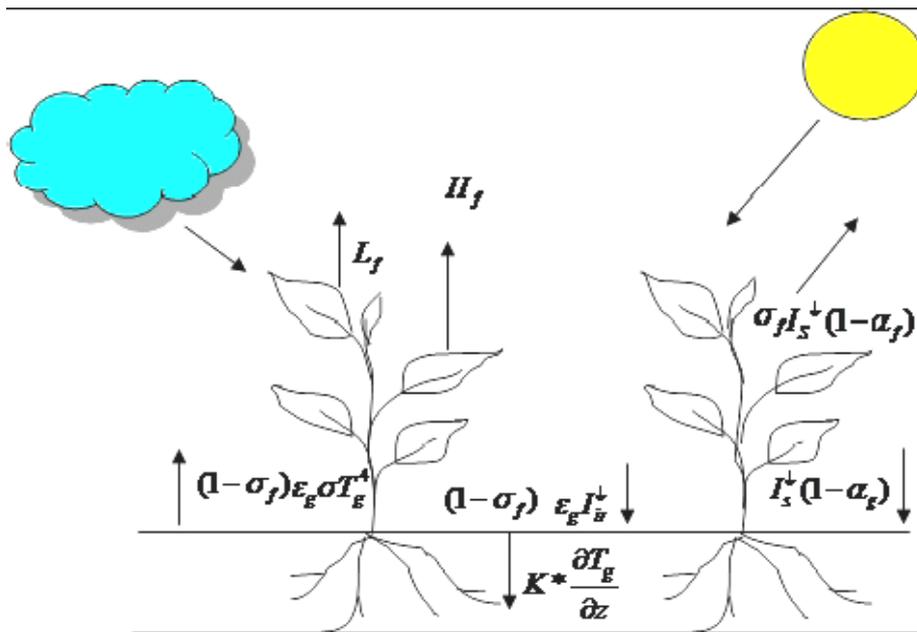


Figura 26 - Balanço Energético das Coberturas Naturadas. (ENERGYPLUS, 2007)

H_f = Fluxo de calor Sensível pela vegetação (W/m^2)

α_g – Albedo (reflectividade de ondas curtas) da superfície do solo

σ_f – fração de cobertura vegetal

σ – Constante de Stefan-Boltzmann ($5.699 \times 10^{-8} W/m^2 \text{ } ^\circ K^4$)

α_f – Albedo (reflectividade de ondas curtas) da camada vegetal

I_s – Radiação Total Incidente de Ondas Curtas (W/m^2)

I_{ly} – Radiação Total Incidente de Ondas Longas (W/m^2)

ϵ_g – Emissividade da superfície do solo

K_v = Constante de von Karman (0.4)

T_g – Temperatura da superfície do solo (Kelvin)

z – profundidade (m)

LAI – Índice de área de folhas (m^2/m^2)

O modelo matemático da Army Corps Engineers FASST é descrito com mais detalhes no anexo L.

4.3. PROTÓTIPO MODELO

Para realizar a análise potencial da eficiência das coberturas naturadas, foi escolhida uma variação do protótipo proposto por Barroso-Krause (1990), para uma unidade habitacional, chamada casa-modelo. Barroso-Krause utilizou este protótipo para simular a aplicação de diversos tipos de cobertura em 3 tipos diferentes de regiões climáticas em clima tropical úmido, em situação de verão. Posteriormente, o mesmo protótipo foi utilizado por Stangenhuis (1992) para simular o conforto higrotérmico com a mudança do tipo de paredes de revestimento. Ambas as simulações foram realizadas pelo software Casamo Clim (Casamo Clim, 1988).

A utilização de um protótipo já utilizado em outras simulações tem como objetivo, a validação dos dados obtidos, e a verificação da eficiência em comparação com os outros tipos de cobertura propostos por Krause. Além disso, a simplicidade do modelo proposto possibilita a obtenção de resultados relativizados, que são mais influenciados pela mudança da cobertura, e não por outros fatores.

O protótipo em questão possui planta retangular, com área interna de piso de 12,00 m² e pé-direito de 2,70 m, conforme figura 27.

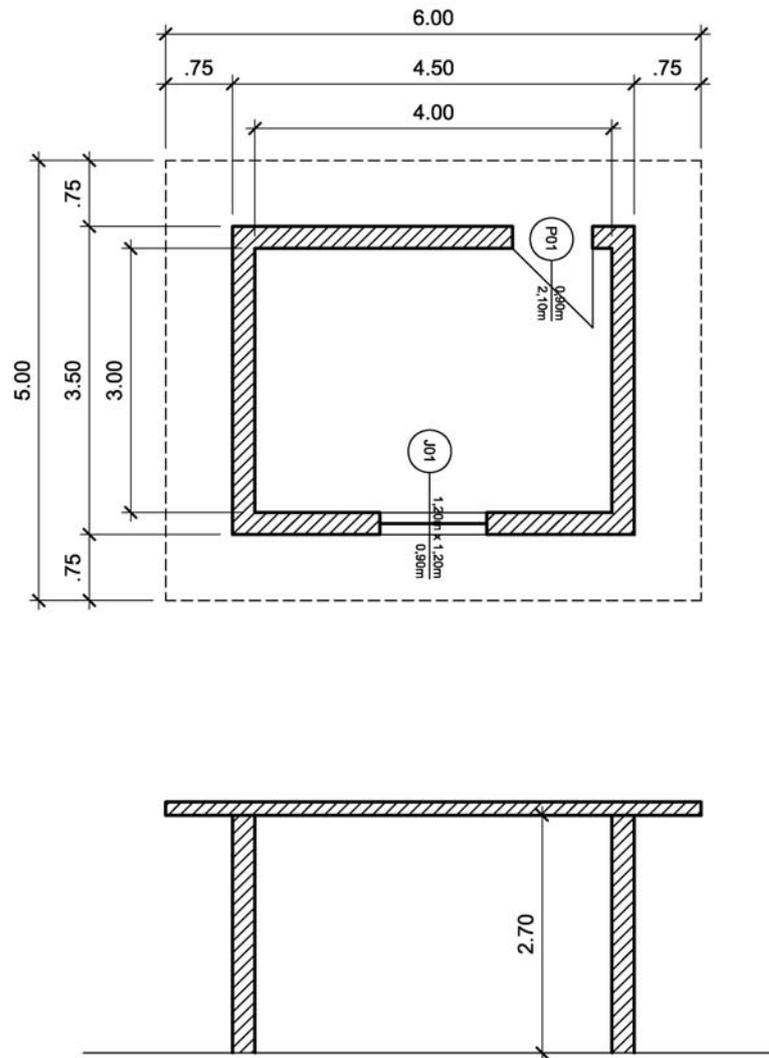


Figura 27 – Projeto do protótipo da casa-modelo

O protótipo possui paredes de tijolos de barro cozidos vazados de 9 cm, com 2,5 cm de revestimento interno e externo em reboco de cimento e pintura branca. O piso é composto de tábuas de madeira com 1 cm de espessura de ipê encerado, sobre laje de concreto de 10cm. A casa possui uma janela de abrir, com duas folhas de vidro simples incolor de 3mm, e uma porta de 2.10m x 0.90m de madeira. A cobertura sempre forma um beiral de 75 cm nas quatro fachadas. O detalhamento dos dados utilizados na simulação encontram-se no anexo K.

4.4. TIPOS DE COBERTURA UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO

As coberturas utilizadas na comparação da eficiência de isolamento térmico, além da laje de concreto, com e sem vegetação, foram escolhidas, por serem algumas das mais utilizadas no Brasil, em especial no Rio de Janeiro, sendo listadas na tabela 9:

Tipos de Cobertura
01) Telha de Fibrocimento com Cobertura Naturada Tipo 1
02) Laje de Concreto com Cobertura Naturada Tipo 1
03) Laje de Concreto com Cobertura Naturada Tipo 2
04) Laje de Concreto com Cobertura Naturada Tipo 3
05) Laje de Concreto Armado (10cm)
06) Telha de Alumínio dupla com isolamento térmico
07) Telha de Fibrocimento sobre laje de concreto
08) Telha de Fibrocimento
09) Telhas de Barro

Tabela 9 - Tipos de coberturas selecionados para análise.

Foram feitas simulações com o uso de 3 tipos de coberturas naturadas diferentes sobre uma laje de concreto armado:

Cobertura Naturada Tipo 1

Características da Vegetação:

Altura das plantas: 0.5 m

Leaf Area Index (LAI): 5

Refletância das folhas (albedo): 0.2

Emissividade das folhas: 0.95

Resistência mínima dos estômatos (s/m) : 180

Características do Substrato:

Rugosidade: Média

Espessura: 0.18m

Condutividade (solo seco): 0.4 W/m K

Densidade (solo seco): 641 kg/m³

Calor Específico (solo seco): 1100 J/kg K

Absorção Térmica: 0.95

Absorção Solar: 0.8

Absorção Visível: 0.7

Índice de umidade volumétrica máxima do solo (saturação): 0.4

Índice de umidade volumétrica residual do solo: 0.01

Índice de umidade volumétrica inicial do solo: 0.2

Cobertura Naturada Tipo 2 (Baixo LAI)

Características da Vegetação:

Altura das plantas: 0.5 m

Leaf Area Index (LAI): 0.5

Refletância das folhas (albedo): 0.2

Emissividade das folhas: 0.95

Resistência mínima dos estômatos (s/m) : 180

Características do Substrato:

Rugosidade: Média

Espessura: 0.18m

Condutividade (solo seco): 0.4 W/m K

Densidade (solo seco): 641 kg/m³

Calor Específico (solo seco): 1100 J/kg K

Absorção Térmica: 0.95

Absorção Solar: 0.8

Absorção Visível: 0.7

Índice de umidade volumétrica máxima do solo (saturação): 0.4

Índice de umidade volumétrica residual do solo: 0.01

Índice de umidade volumétrica inicial do solo: 0.2

Cobertura Naturada Tipo 3 (Maior Quantidade de Substrato)

Características da Vegetação:

Altura das plantas: 0.5 m

Leaf Area Index (LAI): 5

Refletância das folhas (albedo): 0.2

Emissividade das folhas: 0.95

Resistência mínima dos estômatos (s/m) : 180

Características do Substrato:

Rugosidade: Média

Espessura: 0.36m

Condutividade (solo seco): 0.4 W/m K

Densidade (solo seco): 641 kg/m³

Calor Específico (solo seco): 1100 J/kg K

Absorção Térmica: 0.95

Absorção Solar: 0.8

Absorção Visível: 0.7

Índice de umidade volumétrica máxima do solo (saturação): 0.4

Índice de umidade volumétrica residual do solo: 0.01

Índice de umidade volumétrica inicial do solo: 0.2

A definição dos dados inseridos no Energyplus para cada um dos tipos de cobertura naturada está definidos no Anexo J.

4.5. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Para a análise dos diferentes tipos de cobertura, foram calculados os valores para a temperatura interna do ambiente (no ponto interno central do protótipo), de hora em hora, no intervalo de 1 ano. Também foram calculados para o mesmo período a temperatura na superfície da cobertura externamente e internamente, e a energia transmitida pela cobertura. Parte dos dados obtidos estão no Anexo M.

Os dados climáticos utilizados foram os mais recentes disponibilizados pela Secretaria Municipal de Obras do Rio de Janeiro (SMO) para o ano de 2007. Os cálculos foram realizados considerando a presença da chuva, dados também disponibilizados pela SMO.

Devido à grande quantidade de informação produzida, foram selecionados para análise dois dias de verão. O dia 05 de dezembro, onde houve a maior incidência de radiação solar (pico), e o dia 09 de janeiro, onde houve a maior incidência de radiação solar durante um dia inteiro (média). Os resultados encontram-se nas tabelas 10 e 11.

Hora do Dia	Temp. Externa Bulbo Seco (oC)	Cobertura 1 Temp. Interna (oC)	Cobertura 2 Temp. Interna (oC)	Cobertura 3 Temp. Interna (oC)	Cobertura 4 Temp. Interna (oC)	Cobertura 5 Temp. Interna (oC)	Cobertura 6 Temp. Interna (oC)	Cobertura 7 Temp. Interna (oC)	Cobertura 8 Temp. Interna (oC)	Cobertura 9 Temp. Interna (oC)
01:00	27,80	29,21	29,13	29,61	28,64	29,54	28,24	29,69	27,52	28,11
02:00	27,80	28,69	28,79	29,24	28,34	28,82	27,78	29,16	27,02	27,57
03:00	27,24	28,23	28,48	28,91	28,07	28,21	27,38	28,69	26,55	27,12
04:00	26,71	27,77	28,14	28,55	27,78	27,63	26,96	28,21	26,03	26,65
05:00	26,35	27,32	27,80	28,17	27,48	27,09	26,55	27,74	25,59	26,20
06:00	25,95	26,98	27,54	27,89	27,26	26,66	26,29	27,37	25,50	25,89
07:00	25,80	26,97	27,53	27,86	27,29	26,61	26,71	27,28	27,25	26,28
08:00	26,80	27,27	27,74	28,04	27,55	27,18	27,56	27,56	30,69	27,64
09:00	30,53	27,90	28,26	28,52	28,10	28,36	28,48	28,28	34,08	29,64
10:00	33,59	28,92	29,19	29,42	29,07	30,40	29,69	29,41	37,34	31,89
11:00	34,93	30,16	30,27	30,47	30,15	32,88	31,08	30,86	40,11	34,08
12:00	36,36	31,32	31,09	31,35	30,95	35,29	32,28	32,12	42,27	35,87
13:00	37,31	32,36	31,85	32,13	31,68	37,49	33,39	33,39	43,58	37,32
14:00	37,81	33,46	32,69	33,01	32,47	39,38	34,44	34,61	44,45	38,47
15:00	38,13	34,58	33,56	33,92	33,27	40,88	35,33	35,78	44,32	39,26
16:00	36,83	35,63	34,32	34,72	33,95	41,83	36,00	36,85	43,62	39,53
17:00	35,38	36,21	34,74	35,18	34,29	41,91	36,17	37,35	41,83	39,13
18:00	34,06	36,33	34,83	35,24	34,31	41,20	35,86	37,34	39,35	38,15
19:00	32,88	35,69	34,33	34,74	33,81	39,70	34,88	36,62	36,30	36,44
20:00	32,00	34,66	33,46	33,96	32,99	37,77	33,58	35,55	34,02	34,54
21:00	31,58	33,72	32,77	33,35	32,21	36,05	32,47	34,56	32,59	33,07
22:00	31,75	32,92	32,26	32,90	31,63	34,59	31,65	33,73	31,51	31,93
23:00	30,09	32,22	31,87	32,50	31,18	33,46	31,00	33,01	30,62	31,12
24:00	28,31	31,37	31,32	31,90	30,61	32,22	30,13	32,14	29,45	30,12

Tabela 10 - Temperatura interna do ambiente, resultados da simulação para o dia 05 de dezembro (EnergyPlus).

Hora do Dia	Temp. Externa Bulbo Seco (oC)	Cobertura 1 Temp. Interna (oC)	Cobertura 2 Temp. Interna (oC)	Cobertura 3 Temp. Interna (oC)	Cobertura 4 Temp. Interna (oC)	Cobertura 5 Temp. Interna (oC)	Cobertura 6 Temp. Interna (oC)	Cobertura 7 Temp. Interna (oC)	Cobertura 8 Temp. Interna (oC)	Cobertura 9 Temp. Interna (oC)
01:00	28,50	28,07	28,64	29,07	27,88	27,03	26,84	28,81	26,41	26,71
02:00	28,20	27,99	28,65	29,08	27,90	26,90	26,83	28,66	26,18	26,57
03:00	27,89	27,83	28,57	29,00	27,83	26,69	26,69	28,44	25,87	26,37
04:00	27,45	27,61	28,43	28,84	27,71	26,46	26,48	28,17	25,60	26,12
05:00	27,11	27,36	28,25	28,65	27,56	26,21	26,32	27,86	25,48	25,91
06:00	26,88	27,15	28,07	28,45	27,44	26,02	26,26	27,59	25,51	25,82
07:00	27,36	26,89	27,74	28,07	27,20	25,93	26,25	27,20	25,79	25,93
08:00	29,70	26,74	27,48	27,76	27,06	26,06	26,68	26,94	28,71	26,43
09:00	31,28	27,57	28,21	28,48	27,83	27,22	28,19	27,76	32,80	28,78
10:00	32,88	28,69	29,13	29,39	28,80	29,14	29,39	28,91	34,73	30,97
11:00	34,51	29,85	30,13	30,38	29,84	31,15	30,53	30,21	36,13	32,53
12:00	35,19	30,96	31,03	31,28	30,73	33,11	31,72	31,43	39,09	34,17
13:00	35,80	31,97	31,76	31,99	31,42	35,09	32,90	32,49	41,52	35,88
14:00	35,73	32,84	32,41	32,68	32,05	37,06	33,91	33,53	43,41	37,39
15:00	34,88	33,68	33,03	33,34	32,63	38,80	34,57	34,62	43,90	38,40
16:00	35,38	34,52	33,63	33,98	33,18	40,04	35,10	35,61	43,49	38,80
17:00	35,15	35,39	34,29	34,68	33,75	40,82	35,59	36,43	42,21	38,81
18:00	34,14	35,89	34,68	35,06	34,06	40,71	35,65	36,82	39,77	38,15
19:00	33,49	35,69	34,52	34,87	33,87	39,70	35,03	36,51	37,04	36,78
20:00	32,99	34,92	33,80	34,23	33,21	38,06	33,97	35,66	34,76	35,11
21:00	32,05	34,17	33,19	33,69	32,59	36,50	32,96	34,83	33,39	33,69
22:00	30,91	33,41	32,67	33,22	31,96	35,14	32,12	34,02	32,10	32,56
23:00	30,50	32,67	32,21	32,77	31,41	33,97	31,34	33,28	30,96	31,52
24:00	30,50	32,03	31,83	32,39	30,98	32,89	30,74	32,62	30,27	30,75

Tabela 11 - Temperatura interna do ambiente, resultados da simulação para o dia 09 de janeiro (EnergyPlus).

Os dados obtidos são comparados graficamente nas figuras 28 e 29.

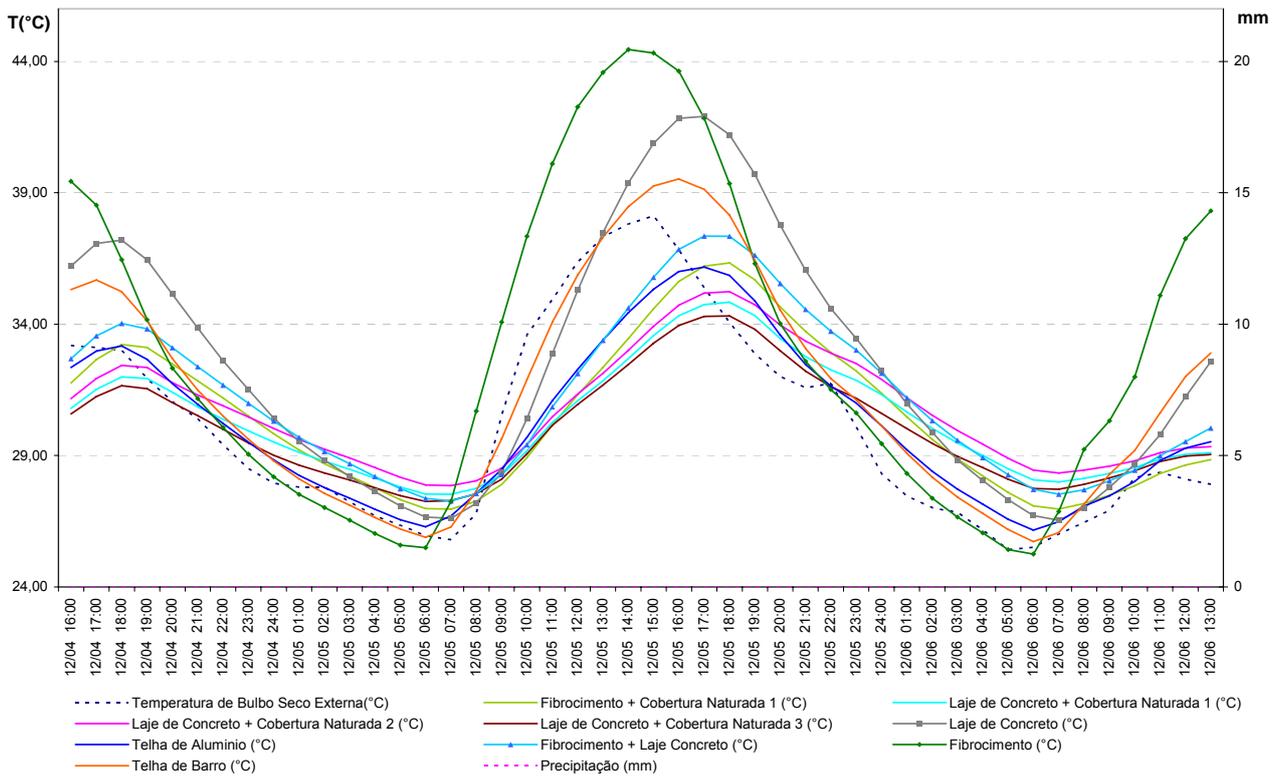


Figura 28 – Resultados da simulação para o dia 05 de dezembro (EnergyPlus).

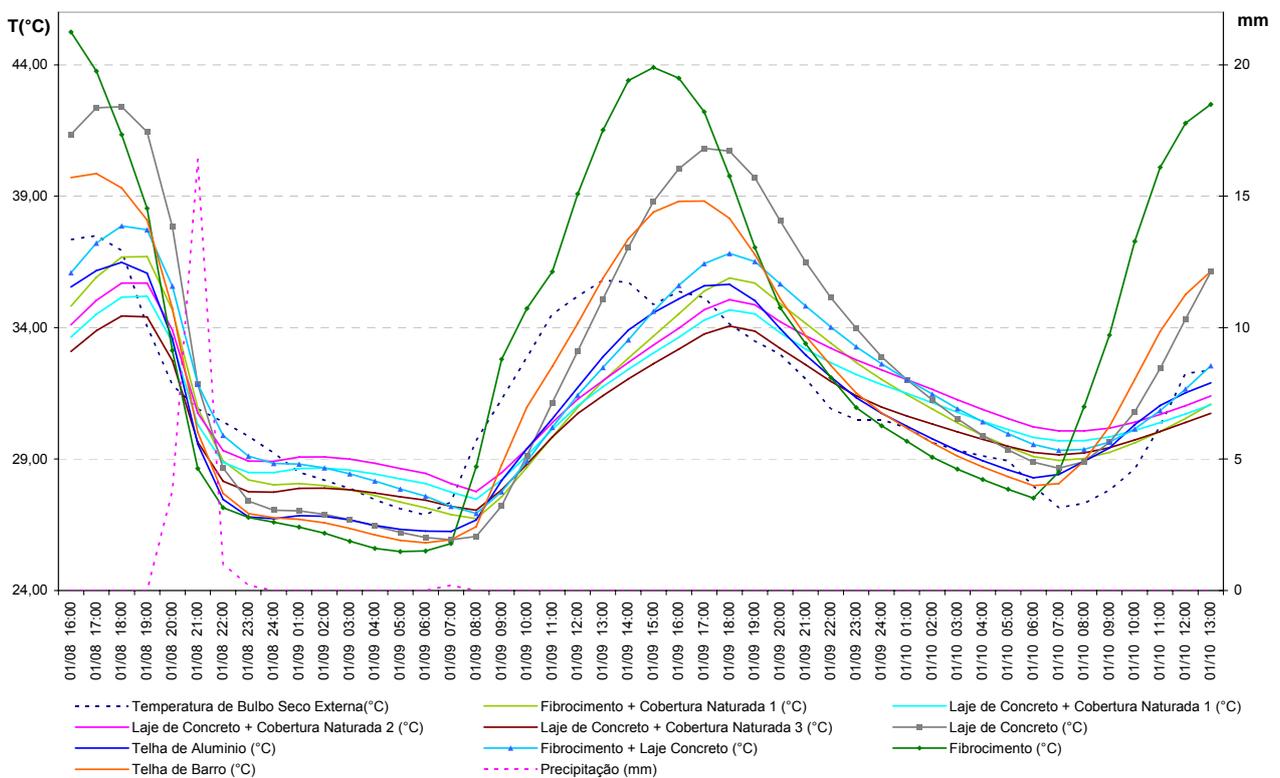


Figura 29 – Resultados da simulação para o dia 09 de janeiro (EnergyPlus).

Observa-se das figuras acima que nos dois dias selecionados, a temperatura mais alta atingida, foi com a utilização da cobertura de telhas de fibrocimento. Os valores máximos obtidos para cada cobertura e o respectivo horário em que ocorreram estão nas tabelas 12 e 13.

Cobertura	Temperatura	Horário
Temperatura Externa	38,13 °C	15:00
Fibrocimento com Cobertura Naturada Tipo 1	36,33 °C	18:00
Concreto com Cobertura Naturada Tipo 1	34,83 °C	18:00
Concreto com Cobertura Naturada Tipo 2	35,24 °C	18:00
Concreto com Cobertura Naturada Tipo 3	34,31 °C	18:00
Concreto Armado (10cm)	41,91 °C	17:00
Telha de Alumínio dupla com isolamento térmico	36,17 °C	17:00
Telha de Fibrocimento sobre laje de concreto	37,35 °C	17:00
Telha de Fibrocimento	44,45 °C	14:00
Telhas de Barro	39,53 °C	16:00

Tabela 12 - Temperatura máxima obtida e o respectivo horário para cada tipo de cobertura no dia 05 de dezembro (EnergyPlus).

Cobertura	Temperatura	Horário
Temperatura Externa	38,13 °C	13:00
Fibrocimento com Cobertura Naturada Tipo 1	36,33 °C	18:00
Concreto com Cobertura Naturada Tipo 1	34,83 °C	18:00
Concreto com Cobertura Naturada Tipo 2	35,24 °C	18:00
Concreto com Cobertura Naturada Tipo 3	34,31 °C	18:00
Concreto Armado (10cm)	41,91 °C	17:00
Telha de Alumínio dupla com isolamento térmico	36,17 °C	18:00
Telha de Fibrocimento sobre laje de concreto	37,35 °C	18:00
Telha de Fibrocimento	44,45 °C	15:00
Telhas de Barro	39,53 °C	17:00

Tabela 13 - Temperatura máxima obtida e o respectivo horário para cada tipo de cobertura no dia 09 de janeiro (EnergyPlus).

Baseado nos dados de temperatura obtidos conclui-se que:

As coberturas naturadas sobre laje de concreto foram as que apresentaram menor temperatura máxima interna no ambiente, nos dias 05 de dezembro e 09 de janeiro, sendo que no momento em que estas temperaturas foram atingidas, a temperatura externa era menor que a interior.

Os resultados obtidos para a temperatura interna do ambiente, para as coberturas naturadas sobre laje de concreto, apresentaram um atraso maior ao alcançar a sua temperatura máxima, em comparação com os outros tipos de cobertura.

A cobertura naturada também retardou muito o aquecimento interno do ambiente quando aplicado sobre telhas de fibrocimento.

Comparando os três tipos de cobertura naturada utilizados, verifica-se que a alteração do tipo de vegetação e a alteração na espessura da camada de substrato promoveram pequenas variações na temperatura interna.

A presença da chuva faz com que a temperatura na superfície dos diferentes tipos de cobertura seja muito próxima ao da temperatura de bulbo seco externa, o que também reflete no calor transmitido para dentro do ambiente.

Na figura 30 se pode verificar a diferença das temperaturas de pico para cada cobertura, identificada na tabela 10, relativo ao dia 5 de dezembro:

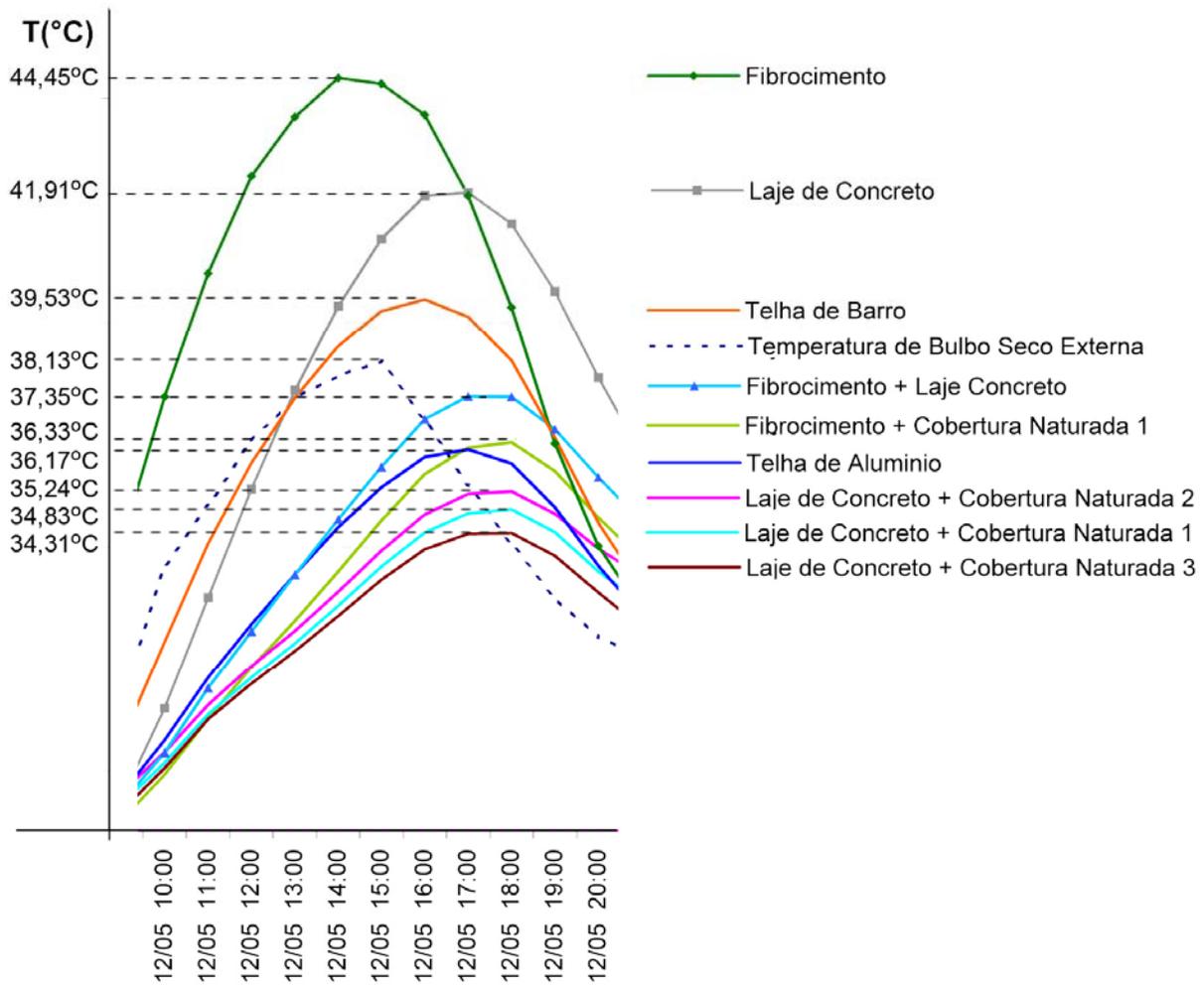


Figura 30 – Temperaturas de pico para os diversos tipos de cobertura para o dia 5 de dezembro (Energyplus).

Energia Total Transmitida

Foram também calculadas a quantidade de energia transmitida, para dentro do ambiente, por cada uma das coberturas, durante o ano de 2007. Os resultados estão relacionados na tabela 14 e no gráfico 30.

Tipo de Cobertura	Energia Transmitida (W)	Percentual Relativo
Fibrocimento com Cobertura Naturada Tipo 1	690.076	17,1%
Concreto com Cobertura Naturada Tipo 1	825.606	20,5%
Concreto com Cobertura Naturada Tipo 2	1.110.967	27,6%
Concreto com Cobertura Naturada Tipo 3	673.384	16,7%
Concreto Armado (10cm)	2.452.384	60,9%
Telha de Alumínio dupla com isolamento térmico	189.044	4,7%
Telha de Fibrocimento sobre laje de concreto	1.341.391	33,3%
Telha de Fibrocimento	4.029.055	100,0%
Telhas de Barro	1.873.555	46,5%

Tabela 14 – Energia transmitida no período de um ano pelas diferentes coberturas (EnergyPlus).

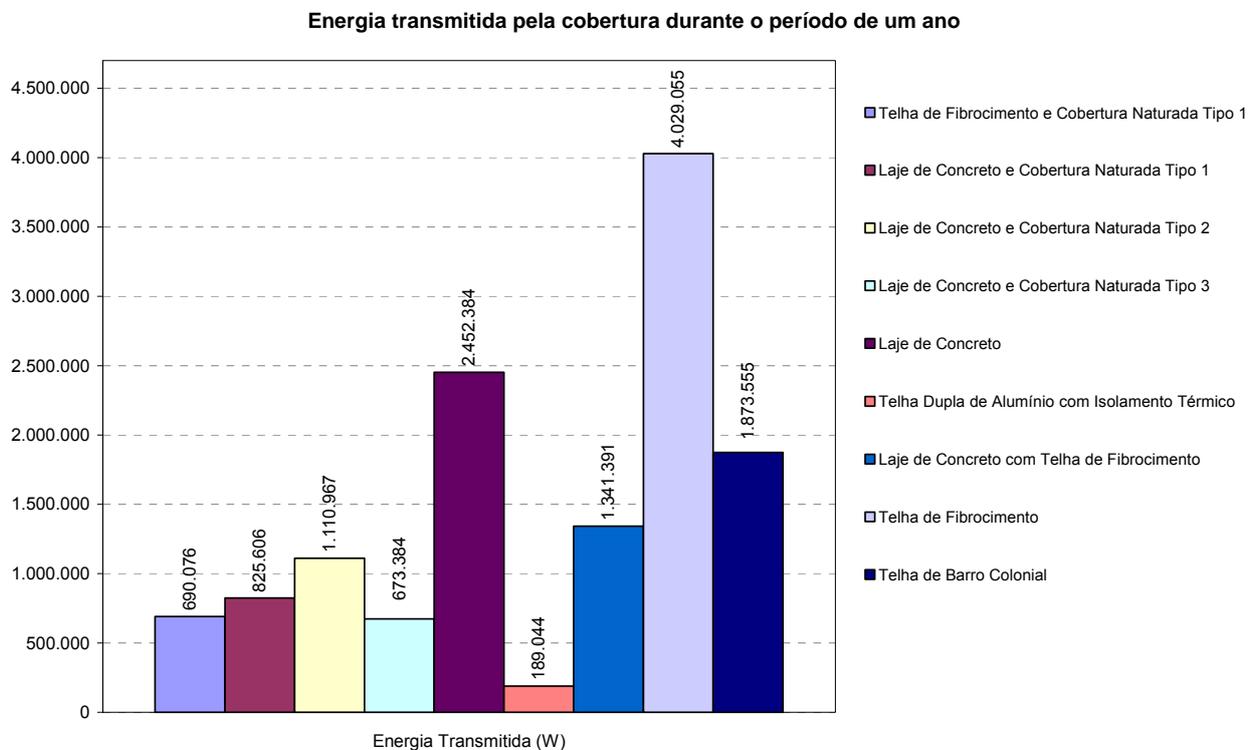


Figura 31 – Energia Transmitida em um ano pelos vários tipos de cobertura (EnergyPlus).

Baseado nos dados relativos à energia total transmitida obtidos conclui-se que:

Considerando a energia total transmitida através da cobertura no período de um ano, as diferenças entre cada tipo são bem mais perceptíveis. Isto nos conduz a uma análise muito mais criteriosa na escolha do sistema de cobertura em combinação com o sistema de ventilação, onde seja levado em consideração o período de ocupação do ambiente, e os materiais selecionados para todas as superfícies do ambiente em conjunto.

Verifica-se também a eficácia no sistema das coberturas naturadas, quando aplicadas em outras bases além da laje de concreto, como foi o caso da simulação feita sobre telhas de fibrocimento.

A cobertura naturada do tipo 2 obteve uma eficiência 25,7% menor que a cobertura naturada do tipo 1, o que demonstra a importância da vegetação no isolamento térmico promovido pelo sistema de cobertura naturada. Os sistemas de coberturas naturadas 1 e 2 utilizam vegetação com alto LAI, o que pode implicar em um sistema intensivo, que necessariamente necessita de alta manutenção.

A influência da espessura da camada de substrato foi muito grande, o que poderia sugerir na sua utilização, porém deve ser analisada a questão da carga que a mesma faz sobre a estrutura da edificação, e talvez utilizar conjuntamente com a cobertura naturada, alguma camada isolante mais leve.

CONCLUSÃO

O aumento da preocupação da sociedade em relação às questões ambientais e energéticas tem mostrado seus reflexos na produção arquitetônica. Arquitetos e engenheiros estão cada vez mais atentos com as escolhas dos materiais e técnicas construtivas mais sustentáveis.

As coberturas naturadas são utilizadas há décadas nos países Europeus, e mais recentemente vêm sendo exploradas por países americanos e asiáticos. Apesar disso, no Brasil, as coberturas naturadas têm sido ainda muito pouco utilizadas.

Os dados obtidos pela pesquisa bibliográfica e pela simulação demonstraram os diversos atributos das coberturas naturadas, comprovando a contribuição para a qualidade ambiental promovida pelo seu uso nas edificações.

A utilização das plantas nas edificações pode colaborar com a construção de um ecossistema mais natural, menos agressivo, mais similar as características do terreno originalmente.

As plantas e o substrato são componentes orgânicos, não contribuindo com a produção de resíduos, seja durante a obra, ou durante o uso da edificação.

A utilização das coberturas naturadas funciona como ótimo isolante térmico, e reduz muito a emissão de calor, da cobertura da edificação, para o ambiente externo, absorvendo parte da radiação solar.

A água das chuvas é escoada mais lentamente, e parcialmente absorvida, quando recolhida em coberturas onde exista vegetação. Além disso, as plantas filtram alguns componentes químicos, contribuindo para que a água recolhida tenha melhor qualidade e possa ser reaproveitada.

É possível ainda citar, como benefícios das coberturas naturadas, a sua capacidade de absorção e dispersão do som, o controle de umidade do ar, a absorção de poluentes do ar, efeitos estéticos, etc..

A análise mais profunda do benefício da cobertura naturada como isolante térmico, realizada pela simulação no Energyplus, demonstra que o isolamento varia muito, de acordo com a quantidade de substrato e com o tipo de vegetação.

Baseado nos resultados das simulações, a utilização de telhas metálicas sanduíche com isolamento térmico pode ser melhor isolante térmico que uma cobertura naturada sobre laje de concreto. Porém, quando todos os atributos das coberturas naturadas são analisados conjuntamente, além do isolamento térmico,

difícilmente se agregam tantos benefícios para a edificação, e para a melhoria do meio ambiente externo.

Sugerem-se como pesquisas futuras:

Simulações computacionais dos vários tipos de cobertura, alterando outras variáveis do projeto, como as aberturas;

Simulações computacionais utilizando as mesmas condições de projeto, porém em outro software de simulação;

Simulações físicas, com a montagem de protótipos nas condições climáticas do Rio de Janeiro.

Portanto, para que o uso das coberturas naturadas seja uma prática mais comum, devem-se disseminar informações sobre a sua correta execução e manutenção. Também devem ser desenvolvidos mais estudos sobre as plantas que melhor se adaptam as condições climáticas extremas, a que são submetidas às coberturas das edificações, em regiões com clima tropical úmido.

BIBLIOGRAFIA

01. ABDESSELAM, M.; ET AL. CORNER, V. (tradução); **CASAMO CLIM – Caderno Científico** – versão brasileira, Ed. PROARQ/LIGHT SESA, Rio de Janeiro 2002.
02. ABDESSELAM, M.; ET AL. CORNER, V. (tradução); **CASAMO CLIM – Manual do usuário**. versão 1989 – versão brasileira, Ed. PROARQ/LIGHT SESA, Rio de Janeiro, 2002.
03. ADDENDA. **Pré-programação Ambiental, Assistência em Procedimento de Alta Qualidade Ambiental HQE**. 2006.
04. AKBARI, H. **Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants**. Environmental Pollution, v. 116, p. S119-S126, 2002.
05. AL SANEH, S. A. **Thermal performance of building roof elements**. Building and Environments. v. 37, n. 7, p. 665-675, 2002.
06. ALLEN, R. G. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. Rome, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>>. Acesso em: 10 nov. 2003.
07. ARAVANTINOS, D. G. **The influence of a planted roof on the passive cooling of buildings**. Disponível em: <<http://www.kenes.com/Ises/Abstracts/Htm/0075.htm>>. Acesso em: 24 ago. 2002.
08. ASHRAE. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Chapter 16, Air flow Around Buildings, Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2005.
09. ASSOHQE. <http://www.assohqe.org> – maio, 2007.
10. AYLOR, Donald. **Noise Reduction by Vegetation and Ground**. The Journal of The Acoustical Society of América. Vol.51 N.01. 1972
11. BALICK, L. R., R. K. Scoggins, and L. E. Link. 1981. **Inclusion of a simple vegetation layer in terrain temperature models for thermal IR signature prediction**. IEEE Geoscience and Remote Sensing GE-19(3), pp.143-152.
12. BARRIO, E.P.D. 1998. **Analysis of green roofs cooling potential in buildings**. Energy and Buildings 27: 179-193.

13. BARROSO-KRAUSE, C. **La Climatisation Naturelle: Modélisation des Objets Architecturaux Elémentaires, Aide à la Conception.** Cenerg, Ecole des Mines de Paris. Paris. França. 1995.
14. BARROSO-KRAUSE, C. **Coberturas, conforto higrotérmico, edificações: Ponderações e propostas para clima tropical úmido em situação de verão.** Proarq-UFRJ. Rio de Janeiro. 1990.
15. BENGTTSSON, L., L. Grahn, and J. Olsson. **Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden.** Nordic Hydrology 36: 259-268. 2005.
16. BERNDTSSON, J.C., Emilsson, T.; Bengtsson, L. **The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality.** Sci. Total Environ. 355 (1-3), 48-63. 2006.
17. BLACK, C.C., C.B. Osmond. **Crassulacean acid metabolism photosynthesis: 'working the night shift'.** Photosynthesis research 76(1-3): 329-341. 2003.
18. BOE, A.A., R.B. Stewart, and T.J. Banko. **Effects of Growth regulators on root and shoot development on Sedum leaf cuttings.** HortScience 7: 404-405. 1972.
19. BOIVIN, M., M. Lamy, A. Gosselin, and B. Dansereau. **Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system.** HortTechnology 11(3): 409-412. 2001.
20. BOLEN, L. N.; BASS, H. E. **Effects of ground cover on the propagation of sound through the atmosphere.** Acoustical Society of America, Journal, vol. 69, p. 950-954. 1981.
21. BOLHAR-NORDENKAMPF, H.R., S.P. Long, N.R. Baker, G. Oquist, U. Schreibers, and E.G. Lechner. **Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation.** Functional Ecology. 3(4): 497-514. 1989.
22. BONHOMME, R. **Bases and limits to using 'degree day' units.** European Journal of Agronomy. 13: 1-10. 2000.
23. BORLAND, A.M. and H. Griffiths. 1990. **The regulation of CAM and respiratory recycling by water supply and light regime in the C3-CAM intermediate *Sedum telephium*.** Functional Ecology. 4: 33-39.
24. BRENNEISEN, Stephan. 2003. **Refugium für Flora und Fauna.** Garten + Landschaft 10/2003: 26-29.

25. BUCHELI, T.D., S.R. Müller, A. Voegelin, and R.P. Schwarzenbach. **Bituminous roof sealing membranes as major sources of the herbicide (R,S) Mecoprop in roof runoff waters: potential contamination of groundwater and surface waters.** Environ. Sci. Technol. 1998.
26. BUCHELI, T.D., S.R. Müller, S. Heberle, and R.P. Schwarzenbach. **Occurrence and behavior of pesticides in rainwater, roof runoff, and artificial stormwater infiltration.** Environ. Science Technol. 32(22): 3457-3464. 1998.
27. CAPECE, J. C. **Comparison of evapotranspiration estimation methods. University of Florida.** Department of Agricultural and Biological Engineering. Institute of Food and Agricultural Sciences. 2002. Disponível em: <http://www.maerc.com/weather/ET_methods_report_020626.doc>. Acesso em: 22 nov. 2003.
28. CAPPELLI, M., C. Cianfrini and M. Corcicone. **Effects of vegetation roof on indoor temperatures.** Heat Environ. 16(2): 85-90. 1998.
29. **CASAMO-CLIM** – Software de simulação e análise de edificações quanto a eficiência energética e sustentabilidade. Mohamed Abdesselam– 1988. Software Computacional.
30. COLINGE, S.K. **Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning.** Landscape and Urban Planning. 36: 59-77. 1996.
31. COOK, Jeffrey. **Climate.** em Oliver, Paul (ed.), Encyclopédia of Vernacular Architecture of the World, Cambridge University Press, Cambridge/Nueva York/Melbourne, 1997.
32. CORREA, C. B.; GONZÁLEZ, F. J. N. **O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas.** In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DE ARQUITETURA E URBANISMO-NUTAU. Anais. São Paulo: Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, 2002.
33. **COST OF GREEN ROOFS.** Publicação eletrônica. Disponível em: <http://www.lidstormwaternet/greenroofs/greenroofs_cost.htm>. Acesso em: 18 set. 2002.
34. COSTA, P.; James, R.W. **Environmental engineering benefits of plants.** Proceedings of the Workplace Comfort Forum, London, UK. 1995.

35. CURRIERO, F.CI, K.S. Heiner, J.M. Samet, S.L. Zeger, L. Strug and J.A. Patz. **Temperature and mortality in 11 cities of the eastern U.S.** American Journal of Epidemiology 155: 80-87. 2002.
36. CUSHMAN, J.C. **Crassulacean acid metabolism. A plastic photosynthetic adaptation to arid environments.** Plant Physiology 127: 1439-1448. 2001.
37. DAJOZ, Roger. **Ecologia Geral.** Editora Vozes. 1983.
38. DAMGAARD, C. **Plant competition experiments: Testing hypotheses and estimating the probability of coexistence.** Ecology. 79(5): 1760-1767. 1998.
39. DAVIS, Kim. **Green Roof Inventory: Preface Report.** Greater Vancouver Regional District, December 12, 2002.
40. DAWSON, Donald. **Plant-covered Roofs Ease Urban Heat.** National Geographic News 15 November 2002.
41. DDV (deutscher Dachgärtner Verband). **Ökologische Leitlinien für Dachbegrünung.** www.dachgaertnerverband.de - 21 Junho 2004.
42. DE LORME, E. **Garden pavilions and the 18th century french court.** Suffolk: Antique Collector's, 1996.
43. DEARDORFF, J.W. **Efficient Prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation.** Journal Geophysical Research, pp. 1889-1902. 1978.
44. DENARDO, J.C., A.R. Jarrett, H.B. Manbeck, D.J. Beattie, and R.D. Berghage. **Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs.** Transactions of ASAE 48(4): 1491-1496. 2005.
45. DICKINSON, R.E., A. Henderson-Sellers, P.J. Kennedy, and M.F. Wilson. **Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) for the NCAR community climate model.** NCAR Technical Note, TN-275+STR. 1986.
46. DIMOUDI, A.; M. Nikolopoulou. **Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits.** Energy and Buildings. 35: 69-76. 2003.
47. DODD, A.N., A.M. Borland, R.P. Haslam, H. Griffiths, and K. Maxwell. **Crassulacean acid metabolism: plastic, fantastic.** J. Exp. Bot. 53: 569-580. 2002.
48. DUNNETT, Nigel. **Planting Green Roofs And Living Walls.** Timber Press, 2004.

49. DÜRR, Albrecht. **Dachbegrünung: Ein Ökologischer Ausgleich; Umweltwirkungen, Recht, Förderung.** Bauverlag, Wiesbaden e Berlin. 1995.
50. ECMWF. **European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Integrated Forecast System.** Documentation, CY25R1 (Operational implementation 9 April 2002).
51. **ECOTECT** – Software de simulação e análise de edificações quanto a eficiência energética e sustentabilidade. Dr. Andrew J. Marsh & Square One Research. 1994-2005. Software Computacional.
52. ECOTELHADO. www.ecotelhado.com.br. Setembro 2007.
53. EGAN, M. David. **Concepts in Architectural Acoustics** McGraw-Hill. 1972.
54. EMILSSON, T. and K. Rolf. **Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden.** Urban Forestry & Urban Greening 3: 103-111. 2005.
55. ENERGYPLUS, **Getting Started With Energyplus.** University of Illinois. 2007.
56. ENGWICHT, David. **Towards an Eco City, Calming The Traffic.** Environbooks. 1992.
57. ERIKSSON, O. **Functional roles of remnant plant populations in communities and ecosystems.** Global Ecology and Biogeography. 9(6): 443-449. 2000.
58. EUMORFOPOULOU, E. and D. Aravantinos. **The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece.** Energy and Buildings. 27(1): 29-36. 1998.
59. EYRING, Carl F.: **Jungle Acoustics.** The Journal of The Acoustical Society of América. Vol.18 N.02. 1946.
60. FABRY, Wolfgang. **Rechtliche Aspekte der Dachbegrünung. In Jahrbuch Dachbegrünung 2002.** Edited by Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplanzbau e.V., (BGL). Thalacker Medien, Braunschweig. pp. 128-141. 2002.
61. FABRY, Wolfgang. **These 4-3: Gründächer senken die Kosten bei Gespaltener Abwassersatzung.** EFB-FBB (Europäische Föderation der Bauwerksbegrünungsverbande – Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) Gründachs-symposium, Ditzingen, 23 março 2003. pp. 31-32. 2003.
62. FBB (Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) 2003. **FBB - Schlaglicht.** - www.fbb.de - Dezembro 2003.

63. FBB (Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) 2004. **Auswertung der Umfrage Dachbegrünung an Stadtverwaltungen von Städten über 10.000 Einwohner.** - www.fbb.de - Maio 2004.
64. FBB. **Verankerung von Dachbegrünung im kommunalen Baurecht durch Festsetzungen im Bebauungsplan oder kommunale Satzungen.** Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB), Köln. 1997.
65. FIGGE, D., B. Hetrick and G. Wilson. **Role of expanded clay and porous ceramic amendments on plant establishment in minespoils.** Environmental Pollution 88: 161-165. 1995.
66. FILHO, Vitório Paulo da Silva. **Simulação Computacional do projeto: Centro de Informações CRESEB / ELETROBRÁS. Avaliação do Desempenho Termoenergético e da Relação Custo x Benefício do Elemento Cobertura Naturada.** UFF - PPGARQURB/UFF. Niterói. 2008.
67. FLL. **Bewertung von Dachbegrünung. Empfehlungen sur Bewertung in der Bauleitplanung, bei der Baugenehmigung und bei der Bauabnahme.** Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), Bonn. 1998.
68. FLL. **Bewertung der wertsteigernden Wirkung von Grünflächen für Immobilien.** Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), Bonn. 2000.
69. FLL. **Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen.** Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), Bonn. 2002.
70. FRANKENSTEIN, S., and G. Koenig. **FASST Vegetation Models.** U. S. Army Engineer Research and Development Center, Cold regions Research and Engineering Laboratory, ERDC/CRREL Technical Report TR-04-25. 2004.
71. FRANKENSTEIN, S., and G. Koenig. **Fast All-season Soil Strength (FASST).** U.S. Army Engineer Research and Development Center, Cold regions Research and Engineering Laboratory, ERDC/CRREL Special Report SR-04-1. 2004.
72. FRITIOFF, Asa. **Metal Accumulation By Plants - evaluation of the use of plants in stormwater treatment.** 2005.
73. GALE ENCYCLOPEDIA OF SCIENCE. **Global warming.** Thomson Gale, 2001. NA. General OneFile. Gale. CAPES. 8 Sept. 2007

<<http://find.galegroup.com/itx/start.do?prodId=ITOF>>. Gale Document Number:A30515486

74. GARRATT, J.R. **The Atmospheric Boundary Layer**. Cambridge university press. 1992.
75. GATES, D.M. **Biophysical Ecology**. New York: Springer-Verlag. 1980.
76. GILLE. **Landschaftsplanung Abteilung**. Berlin-Mitte. Pers. comm., 18 December 2003.
77. GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2 ed. London: Applied Science Publishers Ltd, 1976.
78. CANAL GNT. **Coberturas de Nova Yorque (Heaven Above)** - 07/2007
79. GOMEZ, F. **Vegetation and climatic changes in a city**. Ecological Engineering, v. 10, n. 4, p. 355-360, 1998.
80. GOULD, J. **Rainwater Harvesting Information Resources Booklet for Southern Africa**. 1999.
81. GRAHAM, E.; P.S. Nobel. **Root Water Uptake, Leaf Water Storage and Gas Exchange of a Desert Succulent: Implications for Root System Redundancy**. Annals of Botany. 84:213 - 223. 1999.
82. GRAVATT, D.A. **Crassulacean acid metabolism and survival of asexual propagules of *Sedum wrightii***. Photosynthetica 41:449-452. 2003.
83. GUTTERIDGE, Barry. **Toronto's Green Roof Demonstration Project**. Em Proceedings of the Greening Rooftops for Sustainable Communities Symposium. Green Roofs for Healthy Cities and City of Chicago, Chicago, 29-30 May 2003.
84. GUYMON, G.L., R.L. Berg, and T.V. Hromadka. **Mathematical Model of Frost Heave and Thaw Settlement in Pavements**. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL Report 93-2. 1993.
85. HÄMMERLE, Fritz. **Da geht noch mehr**. DDH Edition Gründach Band 4. Rudolf Müller Verlag, Köln. 1998.
86. HARAZONO, Y. **Effects of rooftop vegetation using artificial substrates on the urban climate and the thermal load of buildings**. Energy and Buildings. v. 15, n. 3-4, p. 435-442. 1991.
87. HAUTH, Emily and Tom Liptan. **Plant Survival Findings in the Pacific Northwest**. Em Proceedings of the Greening Rooftops for Sustainable Communities Symposium. Green Roofs for Healthy Cities and City of Chicago, Chicago, 29-30 May 2003.

88. HEENE, G.: **Flachdach; Technik, Abdichtung, Detail.** Bertelsmann, Gütersloh. 1986.
89. HENDERSON-Sellers, B. **A New Formula for Latent Heat of Vaporization of water as function of temperature.** Quarterly Journal Royal Meteorological Society, 10 pp. 1186-1190. 1984.
90. HENNEBRÜDER, Willi. **These 4-3: Gründächer senken die Kosten bei Gespaltener Abwassersatzung.** In Proceedings of the EFBFBB (Europäische Föderation der Bauwerksbegrünungsverbände – Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) Gründachs-symposium, Ditzingen, 23 March 2003. pp. 33-34.
91. HENZ, Anke. **Die Bewertung unterschiedlicher Formen der Dachbegrünung nach dem Karlsruher Modell im Rahmen der Eingriffsregelung.** In Proceedings of the 2. EFB-FBB (Europäische Föderation der Bauwerksbegrünungsverbände – Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) Gründachs-symposium, Ditzingen, 25 March 2004. pp. 30-31. 2004.
92. HERMAN, Robert. **Green Roofs in Germany: Yesterday, Today and Tomorrow.** In Proceedings of the Greening Rooftops for Sustainable Communities Symposium. Green Roofs for Healthy Cities and City of Portland, Oregon, 29-30 May 2003.
93. HERNANDES, André Teixeira. **Diretrizes para o gerenciamento da água pluvial nas edificações escolares municipais da cidade de Ribeirão Preto.** São Carlos - UFSCar. 2006.
94. HETZEL, Jean. **Haute Qualité Environnementale du Cadre Bâti – Enjeus et Pratiques.** AFNOR. França. 2003
95. HOFFMAN, Leslie. **Green Roofs: Ecological Design And Construction.** Schiffer Publishing, 2004
96. HONJO, T., Takakura, T. **Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas.** Energy and Buildings 15, pág. 443–446. 1991.
97. HOUGHTON, J.T. **Global Warming: The Complete Briefing.** Cambridge University Press, 1997.
98. HUGHES, P.A., T.J.L. McComb, A.B. Rimmer, and K.E. Turver. **A mathematical model for the prediction of temperature of man-made and natural**

- surfaces.** International Journal of Remote Sensing 14 (7), pp. 1383-1412. 1993.
99. IPCC; **Mudança Climática 2007: Impactos na Mudança Climática, Adaptação e Vulnerabilidade.** Relatório do IPCC/ ONU – Novos Cenários Climáticos - Versão em português. 2007.
 100. JOHNSTON, J.; NEWTON, J. **Building green: a guide for using plants on roofs, walls and pavements.** London: The London Ecology Unit, 1996.
 101. KARVONEN, T. **Computation of Potential Evapotranspiration, Crop Energy Balance and Leaf Photosynthesis.** Disponível em : <http://www.water.hut.fi/wr/kurssit/Yhd-12.112/dload/energy_LE2.doc>. Acesso em: 15 dez. 2003.
 102. KATZSCHNER, L. **Ergebnisse des Versuchs zur Abflubmessung eines Grasdachs.** Universidad de Kassel – 1991.
 103. KAWASHIMA, S. **Effect of vegetation on surface temperature in urban and suburban areas in winter.** Energy and Buildings, v. 15, n. 3-4, p. 465-469, 1991.
 104. KÖHLER, Manfred. **Fachhochschule Neubrandenburg.** 25 November 2003.
 105. KÖHLER, Manfred. **The Green Roof Tradition in Germany: the Example of Berlin.** In Press: in Earthpledge Handbook: Green roofs. Earthpledge, New York. 2003.
 106. KÖHLER, Manfred. **In Proceedings of the Greening Rooftops for Sustainable Communities Symposium.** Green Roofs for Healthy Cities and City of Chicago - Chicago. 4 June 2004.
 107. KÖHLER, Manfred. **Fassaden - und Dachbegrünung.** Verl. Eugen. Ulmer. Stuttgart, 1993
 108. KOLB, W., Schwarz, T. **Dachbegrünung intensiv und extensiv.** Ulmer, Stuttgart, 1999.
 109. KORTRIGHT, Robin. **Evaluating the Potential of Green Roof Agriculture.** Trent University, 2001.
 110. KRUPKA, Bernd W. **Extensive Dachbegrünung. Praxisempfehlungen und Kostenbetrachtungen.** Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW, Aachen. 2001.
 111. KRUSCHE, P. Krusche, M. Althaus, D. Gabriel, I. **Ökologisches Bauen – Herausgegeben vom Umweltbundesamt.** Bauvelag GmbH – Berlin, 1982.

112. LAAR, M. **Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical.** In: Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído-Encac, 6. Anais. São Pedro, São Paulo: ANTAC, 2001. 1 CD-ROM.
113. LAKE, T. **Does it pay to go green? A cost-benefit analysis of green roofs in the NYC metropolitan area.** Disponível em: <<http://www.barnard.columbia.edu/envsci/courses/BC3800-01/PresentationsF2003/LakeTimPresentation.ppt>>. Acesso em: 24 nov. 2003.
114. LANDSKRON, Jürgen. **Die Schlüsselrolle hat die Gemeinde.** DDH Edition Gründach Band 4. Rudolf Müller Verlag, Köln. 1998.
115. LE CORBUSIER, **Théorie du toit-jardin,** L'Architecture Vivante, Autumn-Winter 1927, pp. 13-18.
116. LENGEN, Johan Van. **Manual do Arquiteto Descalço.** Livraria do Arquiteto. 2004.
117. LENK, Claudia. **Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.** Berlin. 14 October 2003.
118. LIESECKE, H.-J., Krupka, B., Lösken, G., Brüggemann, H. **Grundlagen der Dachbegrünung.** Patzer- Verlag, Berlin, 1989.
119. LIU, Karen. **Research Quantifies Benefits of Rooftop Gardens.** In Construction Innovation, Volume 7, Number 1, Winter 2002. Disponível em http://irc.nrcnrc.gc.ca/newsletter/v7no1/rooftop_e.html. Acessado em 2/04/2004.
120. LOHR, Virginia I.; Pearson-Mims, Caroline H.; Goodwin, Geórgia K.; **Interior Plantas May Improve Worker Productivity And Reduce Stress In a Windowless Environment.** Disponível em <http://www.plants-in-buildings.com/documents/Lohretal-plantsandproductivity.pdf> . Acessado em 10/11/2007.
121. LUMLEY, J. L. and Panofsky, H. A. **The structure of Atmospheric Turbulence.** Interscience Monographs and Texts in Physics and Astronomy, Vol. XII. Wiley, New York. 1964.
122. MACHADO, Luis Fernando Carvalho. **A Cobertura Naturada e a Possibilidade de Reutilização da Água da Chuva.** Tese de Mestrado no ProArq-UFRJ, 2002.
123. MACHADO, M. V.; BRITTO, C.; NEILA, F. J. **Thermal behaviour simulation of models with ecological roofs.** Em: International Conference On Passive

- And Low Energy Architecture-Plea, 18. Anais. Austrália: Brisbane, University of Queensland, 1999.
124. MACHADO, M. V.; BRITTO, C.; NEILA, J. **La conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica.** In: Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído-Encac, 6. Anais. São Pedro, São Paulo: ANTAC, 2001.
 125. MACOMBER, P.S.H. **Guidelines on rainwater catchment systems for Hawaii.** College of tropical agriculture and human resources, University of Hawaii, Manoa. 2001. Publicação no. RM-12. Disponível em: (<http://www2.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/RM-12.pdf>). Acessado em 07/2007.
 126. MAINZ, Christof. **These 4-1: Gründächer sind wirtschaftlich und lassen sich rechnen.** In Proceedings of the EFB-FBB (Europäische Föderation der Bauwerksbegrünungsverbande – Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) Gründachsymposium, Ditzingen, 23 March 2003. pp. 29-31. 2003.
 127. MANN, Gunter. **Ein Blick über den Zaun des Nachbarn.** Stadt + Grün 9:49-53. 2002.
 128. MARQUES, Gisela R.A.M. **Aedes albopictus em bromélias de ambiente antrópico no Estado de São Paulo, Brasil.** Revista Saúde Pública vol.35, Nº3. 2001.
 129. MARTINEZ, Andrés **Dwelling on The Roof.** Barcelona: Editora Gustavo Gilli, 2005.
 130. MERCIER, G. **Energy Sector in Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation,** Environment Canada, 1998.
 131. MESTAYER, P.G., Anquetin, S. **Climatology of cities. In: Gyr, A., Rys, F.S. (Eds.), Diffusion and Transport of Pollutants in Atmospheric Mesoscale Flow Fields.** Kluwer Academic Publishers, pp. 165–189, 1994.
 132. MINKE, Gernot: **Manual de Construcción en Tierra.** Nordan Comunidad, 1994.
 133. MINKE, Gernot: **Techos Verdes.** Ed. Fin Del Siglo, Uruguai 2004.
 134. MIRBAGHERI, S. A. **Sources of pollution for rainwater in catchment systems, and environmental quality problems.** Em: International Rainwater Catchment Systems Conference, Iran, 1997.
 135. MODESTO, Zulmira M.M. **Botânica.** Editora Pedagógica e Universitária Ltda. 1981.

136. MOFFAT, Sebastian. **City Green: A Guide to Green Infrastructure for Canadian Municipalities**. The Sheltair Group, May 2001.
137. MORGADO, J. M. **Coberturas verdes**. Revista Impermeabilizar. São Paulo, n. 78, p. 62-76, fev. 1995.
138. MORIKAWA, Hiromichi; Erkin, Cem Ozgur, **Basic processes in phytoremediation and some applications to air pollution control**. Chemosphere, no 52, 1553-1558.
139. MORITZ, Karl, **Manual de cubiertas planas en construcción**. Editora Blume, Madrid/Barcelona, 1969
140. NEYMARK, J.; Judkoff, R. **International Energy Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method for Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Equipment Models (HVAC BESTEST)**. IEA / NREL. 2002
141. NGAN, Goya. **Soka-Bau Green Roof Case Study**. Wiesbaden, Germany. Canada Mortgage and Housing Corporation, Innovative Buildings. http://www.cmhcschl.gc.ca/en/imquaf/himu/buin_009.cfm.
142. NIACHOU, A. *et al.* **Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance**. Energy and Buildings, v. 33, n. 7, p. 719-729, 2001.
143. **NTJ 11E: 1999 Cubiertas ecológicas extensivas**. Colegio Oficial de Ing. Téc. Agrícolas de Cataluña. 1999.
144. ONMURA, S. *et al.* **Study on evaporative cooling effect of lawn gardens. Energy and Buildings**. v.33, n. 7, p.653-666, 2001.
145. OPTIGRÜN. 2002. **Der Optigrüner**. 3/October 2002: 4.
146. OSMUNDSON, Theodore. 1999. **Roof Gardens. History, Design and Construction**. W.W. Norton & Company, Inc., New York.
147. PAO, S.P.; Evans, L.B. **Sound Attenuation Over Simulated Ground Cover**. The Journal of the Acoustical Society of America -- April 1971 -- Volume 49, Issue 4A, pp. 1069-1075
148. PATTERSON, M. **What color green?** Buildings 1998;92(5):80-2.
149. PECK, S. W. *et al.* **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada**. Peck and Associates. Disponível em: <<http://greenroofs.ca/grhcc/Greenbacks.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2002.
150. POUHEY, M. T. F. **Estudo experimental do desempenho térmico de coberturas planas–Vegetação e Terraço**. 148 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998a.

151. POUHEY, M. T. F. *et al.* **Coberturas verdes: análise do desempenho térmico.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENTAC, 7. Anais. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998b.
152. RAVÉRAU, André. **Le M´Zab, une leçon d´architecture.** Paris : Sinbad, 1991.
153. RAZA, S. H. *et al.* **Effect of vegetation on urban climate and healthy urban colonies.** Energy and Buildings, v. 15, n. 3-4, p. 487-491, 1991.
154. RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural.** Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores: Ed.da Universidade, UFRGS, 1985.
155. ROLA, Sylvia Meimaridou. **A naturalização como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: estudo da capacidade do sistema de naturalização em filtrar a água de chuva.** COPPE/UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2008.
156. ROLLER, Gerhard. 2000. **Umsetzung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Bebauungsplänen.** In Proceedings of Infoforum Regenmanagement: Regenwasserbewirtschaftungssysteme in Berlin und Brandenburg. GEOAgentur, Berlin. pp. 31-34.
157. ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano.** São Paulo: ProEditores, 2000. p. 31-32.
158. RORIZ, M. **Jardim 1.0 – Temperaturas Superficiais em Vegetação.** Versão 1.0. *JARDIM.EXE.* São Carlos, 2003. Aplicativo. 264KB.
159. SABERSKY, Annette. 1994. **ÖKO-TEST Februar 94: Zuschüsse, Garten.** Öko-Test Verlag, Frankfurt.
160. SASSON, Sezar. 1989. **Biologia 2.** São Paulo: Atual.
161. SAYED, O.H. 2001. **Crassulacean Acid Metabolism 1975-2000, a check list.** Photosynthetica 39. pag. 339-352.
162. SCHMIDT, Marco. 2000. **Dachbegrünung als Ausgleichs- und Ersatzmaßme zur Flächenversiegelung.** In Proceedings of Infoforum Regenmanagement: Regenwasserbewirtschaftungssysteme in Berlin und Brandenburg. GEOAgentur, Berlin. pp. 46-56..
163. SCHNEIDER, Sabine. **Stadtentwässerungsbetriebe Köln.** Pers. Comm. 29 July 2004.

164. SCHOLZ-BARTH K. **Green Roofs: Stormwater Management From The Top Down.** Environment Design & Construction Home. www.edemag.com/CDA/ArticleInformation - 01/2000
165. SCHUELER, T.R. - **Stormwater Management Manual for Western Washington.** Metropolitan Washington Council of Governments, Washington D.C. 2001.
166. SEZAR, Sasson; SILVA Júnior, César **Biologia 2.** São Paulo. Ed. Atual. 1989
167. TEESMUK, Alar; MANDER, Ülo **Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events.** Ecological Engineering 30, p. 271–277, 2007.
168. THEODOSIOU, T. G. **Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique.** Energy and Buildings, v. 35, n. 9, p. 909-917, 2003.
169. TRAUTLEIN, Steve. 2003. **Seeing Green.** Metropolis, Tokyo. July 11, 2003.
170. TREBILCOCK, M. E. **Appropriate technologies for the design of green roofs.** Em: Núcleo De Pesquisa Em Tecnologia De Arquitetura E Urbanismo- Nutau. Anais. São Paulo: Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, 1998.
171. VELAZQUEZ L. S. **Why have a test of green roof ?** Disponível em: <<http://www.greenroofs.com>>. Acesso em: 16 jul. 2002.
172. VITTORINO, F.; Sato, N. M. N.; Akutsu, M. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas.** Técnica, São Paulo, n.75, p. 66-70, jun. 2003.
173. WILLIAMSON, S. J. **Fundamentals of Air Pollution.** Addison- Wesley Pub. Co., Reading, MA, 1973.
174. WILMERS, F. **Effects of vegetation on urban climate and buildings.** Energy and Buildings, v. 15, n. 3-4, p. 507-514, 1990-1991.
175. WOLFGANG, Ansel - International Green Roof Association. http://www.ecotelhado.com.br/fito_reme.htm, 2007.
176. WOLLET, T.; Kimmins, S. **Green Building: a guide to products and their impact on the environment.** E&F Spon; Suffolk, Inglaterra; 2000.
177. WONG, N. H. *et al.* **Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment.** Building and Environment, v. 38, n. 2, p. 261-270, 2003b.

178. WONG, N. H. *et al.* **Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore.** Building and Environment, v. 38, n. 3, p. 499-509, 2003c.
179. WONG, N. H. *et al.* **The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore.** Energy and Buildings, v.35, n. 2, p. 353-364, 2003a.
180. YEO, A. **Singapore in 50 year-thriving world class and very green.** The Straits Times, H8, July 21, 2001.
181. YEO, A. **The grass is greener on the upper side.** The Straits Times, H1, July 4, 2001.
182. ZAMBRANO, Letícia M. A. **A Avaliação do Desempenho Ambiental da Edificação: um Instrumento de Gestão Ambiental.** Dissertação de Mestrado, Proarq - UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.
183. ZELLER, Stefan. **Bewertung begrünter Dächer in Bauleitplanung und Eingriffsregelung: Vergleich, Anwendung, Erfolgskontrolle.** Diplom thesis, Fachhochschule Nürtingen, Nürtingen, Alemanha. 2002.
184. ZELLER, Stefan. 2003. **Begrünte Dächer in der Eingriffsregelung.** Garten + Landschaft. 10/2003: 39-40.
185. ZINCO Gmbh. **Planning Guide: The Green Roof.** International – ZinCo Alemanha. 2000.
186. ZIPPERER, W. C. ZIPPERER C. E. **Vegetation responses to changes in design and management of an urban park.** Landscape and Urban Planning. v. 22, n. 1, Sep., p. 1-10, 1992.
187. ZÖLD, A.; SZOKOLAY, S. V. **Thermal insulation design tools and techniques.** PLEA. Passive and Low Energy Architecture International. Department of Architecture. Brisbane: University of Queensland, 1997.

ANEXOS

Anexo A

Cargas de materiais construtivos comuns (Fonte: OSMUNDSON, 1999, p. 293-294).

MATERIAL	kg/m ³
Aço	7945
Água	1013
Ardósia	2595-2919
Areia e cascalho	1865
Areia seca	1460-1784
Areia úmida	1784- 2108
Argila	2627
Argila expandida	649-730
Bloco cerâmico	1856
Bloco de concreto	811-973
Bronze	8318
Calcário argiloso seco	1298
Calcário argiloso úmido	1946
Cascalho	1946
Concreto armado	2433
Concreto leve	1298-1622
Concreto pré-moldado	2108
Ferro fundido	7297
Granito	2757
Húmus seco	568
Húmus úmido	1330
Madeira maciça	730
Madeira oca	568
Mármore	2757
Pedra calcária	2514
Pedra de areia (arenito)	2352
Pedra-pomes	649

Seixo Rolado	1946
Solo argiloso compactado seco	1216-1622
Solo argiloso compactado úmido	2027
Solo especial comercial	1784
Turfa seca	154
Turfa úmida	165

Anexo B

Cargas de alguns materiais utilizados no sistema de coberturas naturadas
(Fonte: OSMUNDSON, 1999, p. 294-295.)

MATERIAL	kg/m ³
Areia fina seca	1446
Areia fina úmida	1928
Serragem seca de cedro com fertilizante	148
Serragem úmida de cedro com fertilizante	208
Turfa e musgo secos	154
Turfa e musgo úmidos	165
Lava vulcânica seca	803
Lava vulcânica úmida	863
Serragem seca de madeira vermelha	237
Serragem úmida de madeira vermelha	356
Vermiculita grossa seca	100
Vermiculita média seca	92
Vermiculita fina seca	120

Anexo C

Profundidades da camada do substrato (Fonte: OSMUNDSON, 1999, p. 298.)

TIPO DE VEGETAÇÃO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (cm)
Gramados	20 – 30
Flores	26 – 30
Arbustos	60 – 75
Árvores baixas	75 – 100
Árvores altas	122 – 152

Anexo D

Espécies de plantas utilizadas em coberturas verdes nos Estados Unidos (Fonte: OSMUNDSON, 1999, p. 299 – 300)

NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR
<i>Agapanthus africanus</i>	Agapantos
<i>Antirrhinum majus</i>	Boca de leão
<i>Aptenia corsifolia</i>	Aptenia
<i>Asparagus densiflorus</i>	Aspargo-rabo-de-gato, aspargo-pluma
<i>Axonopus compressus</i>	Gramma São Carlos
<i>Begonia cucullata</i>	Begônia sempre florida
<i>Bulbine frutescens</i>	Cebolinha, bulbine
<i>Buxus sempervirens</i>	Buxinho, buxo, árvore-de-caixa
<i>Celosia argêntea</i>	Crista de galo
<i>Chamaecyparis obtusa nana gracilis</i>	Cipreste de hinochi
<i>Chamaecyparis pisifera filifera áurea</i>	Tuia macarrão
<i>Chrysanthemum paludosum</i>	Margarida mini
<i>Cornus florida</i> Cornos	pink-dog-wood
<i>Cotoneaster congesta</i>	bonsai
<i>Cotoneaster dammeri</i>	Cotoneaster
<i>Cryptomeria japonica</i>	Pinheiro vermelho
<i>Cunninghamia lanceolata</i>	Cuningania
<i>Cupressus sempervirens</i>	Cipreste italiano
<i>Dahlia pinnata</i>	Dália mini
<i>Daphne cneorum</i>	Louro
<i>Duranta repens</i>	Pingo de ouro
<i>Euonymus fortunei vegetus</i>	Evônimo
<i>Ficus pumila</i>	Unha de gato
<i>Hedera canariensis</i>	Hera batata
<i>Hypericum spp.</i>	Milfurada
<i>Ilex aquifolium</i>	Azevinho
<i>Ilex cornuta</i>	Arbusto chinês, bonsai
<i>Ilex crenata convexa</i>	Ilex
<i>Ixora chinensis</i>	Ixora chinesa
<i>Jasminum mesnyi</i>	Jasmim amarelo
<i>Juniperus chinensis pfitzioriana</i>	Junipero chinês
<i>Juniperus chinensis torulosa</i>	Tuia kaizuka

Juniperus horizontalis	Pinheiro rasteiro
Ligustrun sinense	Ligustrinho verde
Liripoe muscari	Barba-de-serpente
Magnólia X soulangeana	Magnólia
Mahonia bealei	Mahonia
Paspalum notatum	Gramma batatais
Pedilanthus tithymaloides	Dois amores, dois irmãos, sapatinho-de-judeu
Pilea microphylla	Brilhantina
Plumbago capensis	Bela Emília
Portulaca grandiflora	Portulaca, onze-horas
Pyracantha coccínea	Piracanta
Raphiolepis umbellata	Rosinha da Índia
Rhododendron Exbury hybrids	Azaléia rosa
Rhododendron prunifolium	Azaléia
Rosa chinensis	Rosa mini
Senecio confusus	Jalisco, margaridão, flama-do-méxico
Spiraea incisa	Flor-de-noiva
Stenotaphrum secundatum	Gramma Santo Agostinho
Suculentas	Suculentas
Thuia occidentalis	Tuia áurea
Thunbergia erecta	Tumbergia azul arbustiva
Tradescantia pallida	Coração roxo, tapueraba
Tradescantia spathacea	Abacaxi roxo, Moisés-no-berço
Tradescantia zebrina	Tapueraba roxa, lambari roxo.
Viburnum plicatum tomentosum	Viburno
Viburnum tinus	Laurotino
Viola x wittrockiana	Amor perfeito
Zoysia japonica	Gramma esmeralda

Anexo E

Espécies vegetais para utilização em coberturas naturadas extensivas.

(Fonte: Norma Espanhola NTJ 11E.)

Nome Científico	Família	Altura (cm)
<i>Acaena microphylla</i>	Rosaceae	3-15
<i>Acantholimon glumaceum</i>	Plumbaginaceae	5-10
<i>Achillea millefolium</i>	Asteraceae	20-80
<i>Achillea tomentosa</i>	Asteraceae	10-40
<i>Achillea umbellata</i>	Asteraceae	5-20
<i>Adenophora liliifolia</i>	Campanulaceae	45-80
<i>Aeonium canariense</i>	Crassulaceae	20-35
<i>Aeonium sedifolium</i>	Crassulaceae	15-40
<i>Aethionema grandiflorum</i>	Brassicaceae	15-30
<i>Ajania pacifica</i>	Asteraceae	30-40
<i>Ajuga reptans</i>	Lamiaceae	5-15
<i>Allium caeruleum</i>	Liliaceae	40-60
<i>Allium cemuum</i>	Liliaceae	30-60
<i>Allium oreophilum</i>	Liliaceae	5-20
<i>Allium schoenoprasum</i>	Liliaceae	10-50
<i>Allium sphaerocephalon</i>	Liliaceae	30-80
<i>Aloe saponaria</i>	Aloaceae	40-70
<i>Alyssum montanum</i>	Brassicaceae	5-25
<i>Anacyclus depressus</i>	Asteraceae	3-5
<i>Androsace primuloides</i>	Primulaceae	10-15
<i>Antennaria dióica</i>	Asteraceae	5-25
<i>Anthemis tinctoria</i>	Asteraceae	30-60
<i>Anthyllis montana</i>	Fabaceae	10-30
<i>Aphyllanthes monspeliensis</i>	Liliaceae	10-40
<i>Aptenia cordifolia</i>	Alzoaceae	5
<i>Aquilegia vulgaris</i>	Ranunculaceae	40-60
<i>Arabis caucásica</i>	Brassicaceae	10-20
<i>Arenaria baleárica</i>	Caryophyllaceae	1-10
<i>Argyrolobium zanonii</i>	Fabaceae	10-30
<i>Armeria caespitosa</i>	Plumbaginaceae	5-15
<i>Armeria marítima</i>	Plumbaginaceae	5-40
<i>Artemisia caucásica</i>	Asteraceae	5-30
<i>Artemisia stelleriana</i>	Asteraceae	15-40

<i>Asparagus densiflorus</i>	Liliaceae	40-60
<i>Áster amellus</i>	Asteraceae	30-60
<i>Áster sedifolius</i>	Asteraceae	20-50
<i>Asteriscus maritimus</i>	Asteraceae	10-40
<i>Astragalus massiliensis</i>	Fabaceae	10-30
<i>Astragalus sempervirens</i>	Fabaceae	10-40
<i>Aubrieta deltoidea</i>	Brassicaceae	5-20
<i>Aurinia saxatilis</i>	Brassicaceae	20-30
<i>Ballota pseudodictamnus</i>	Lamiaceae	30-50
<i>Brachypodium phoenicoides</i>	Poaceae	30-80
<i>Brachypodium retusum</i>	Poaceae	20-60
<i>Brachyscome multifida</i>	Asteraceae	15-30
<i>Campânula carpatica</i>	Campanulaceae	15-30
<i>Campanula cochleariifolia</i>	Campanulaceae	5-15
<i>Campanula garganica</i>	Campanulaceae	5-15
<i>Campanula portenschlagiana</i>	Campanulaceae	15-20
<i>Campanula poscharskyana</i>	Campanulaceae	10-15
<i>Camphorosma monspeliaca</i>	Chenopodiaceae	10-60
<i>Capparis spinosa</i>	Capparaceae	30-50
<i>Carex buchananii</i>	Cyperaceae	40-50
<i>Carex morrowii</i>	Cyperaceae	30-40
<i>Carpobrotus acinaciformis</i>	Aizoaceae	10-20
<i>Carpobrotus edulis</i>	Aizoaceae	10-20
<i>Centaurea cinerária</i>	Asteraceae	30-80
<i>Centranthus ruber</i>	Valerianaceae	10-60
<i>Cephalophyllum alstonil</i>	Alzoaceae	7-12
<i>Cerastium tomentosum</i>	Caryophyllaceae	5-10
<i>Ceratostigma plumbagioides</i>	Plumbaginaceae	15-30
<i>Chamaemelum nobile</i>	Asteraceae	5-30
<i>Cinerária saxifraga</i>	Asteraceae	20-30
<i>Cistus salviifolius</i>	Cistaceae	20-70
<i>Convolvulus cneorum</i>	Convolvulaceae	10-60
<i>Convolvulus sabatius</i>	Convolvulaceae	10-15
<i>Coris monspeliensis</i>	Primulaceae	10-35
<i>Coronilla mínima</i>	Fabaceae	10-50

Anexo F

Espécies vegetais para utilização em coberturas naturadas extensivas em Cingapura. (Fonte: Yok, Tan Puay; Sia, Angelia; A selection of plants for green roofs in Singapore; National Parks Board; 2005)

ESPÉCIE	FAMÍLIA
<i>Alternanthera ficoidea</i> 'White Carpet'	Amaranthaceae
<i>Aptenia cordifolia</i>	Aizoaceae
<i>Bryophyllum</i> 'Crenatodaigremontianum'	Crassulaceae
<i>Bryophyllum fedtschenkoi</i>	Crassulaceae
<i>Callisia repens</i>	Commelinaceae
<i>Carpobrotus edulis</i>	Aizoaceae
<i>Commelina diffusa</i>	Commelinaceae
<i>Cyanotis cristata</i>	Commelinaceae
<i>Delosperma cooperi</i>	Aizoaceae
<i>Furcraea foetida</i> 'Mediopicta'	Agavaceae
<i>Kalanchoe tomentosa</i>	Crassulaceae
<i>Liriope muscari</i>	Convallariaceae
<i>Murdannia nudiflora</i>	Commelinaceae
<i>Murdannia vaginata</i>	Commelinaceae
<i>Plectranthus verticillatus</i>	Labiatae
<i>Portulaca grandiflora</i>	Portulacaceae
<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae
<i>Portulaca pilosa</i>	Portulacaceae
<i>Rhipsalis mesembryanthemoides</i>	Cactaceae
<i>Sansevieria trifasciata</i> 'Golden Hahnii'	Dracaenaceae
<i>Sansevieria trifasciata</i> 'Hahnii'	Dracaenaceae
<i>Sansevieria trifasciata</i> 'Laurentii'	Dracaenaceae
<i>Sedum acre</i>	Crassulaceae
<i>Sedum mexicanum</i>	Crassulaceae
<i>Sedum nussbaumerianum</i>	Crassulaceae
<i>Sedum sarmentosum</i>	Crassulaceae
<i>Sedum sexangulare</i>	Crassulaceae
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Aizoaceae
<i>Tradescantia pallida</i> 'Purpurea'	Commelinaceae
<i>Tulbaghia violacea</i>	Alliaceae
<i>Variegated sedum</i>	Crassulaceae
<i>Zephyranthes candida</i>	Amoryllidaceae
<i>Zephyranthes rosea</i>	Amoryllidaceae

Anexo G

Efeitos observados da Poluição do Ar sobre plantas utilizadas em coberturas naturadas.

Fonte: STERN, A. C. (ed.), Air Pollution, 2 ed., Academic Press, New York, NY, 1968

Poluentes	Sintomas característicos	Mínima concentração para dano		
		ppm (vol)	u/m ³	Tempo de exposição
Dióxido de enxofre	Manchas esbranquiçadas, áreas descoloridas entre veias, clorose (amarelamento).	0.3	785	8 horas
Ozona	Marcas esbranquiçadas, pigmentação, as pontas das coníferas tornam-se amarronzadas e necróticas	0.03	59	4 horas
Nitrato de Piroxiacetila	Espelhamento, prateamento ou bronzeamento na parte inferior das folhas	0.01	50	6 horas
Dióxido de Nitrogênio	Lesões irregulares, brancas ou marrons, no tecido intercostal e próxima à margem das folhas	2,5	4.700	4 horas
Fluoreto de hidrogênio	Queimaduras nas pontas e nas margens. Diminuição do crescimento. Abcesso na folha, faixa estreita vermelha amarronzada separa áreas necrosadas do tecido verde	0.1 ppb	0.08	5 semanas
Etileno	Necrose de parte do cálice em orquídeas, anormalidades nas folhas, queda de flores e falta de abertura das folhas. Abcesso	0.05	58	6 horas
Cloro	Branqueamento entre veias das folhas Queimadura nas pontas e margens. Abcesso nas folhas, danos similares ao da ozona	0.10	296	2 horas
Amônia	Aparência verde forte, tornando-se marrom ou verde comum ao secar, pode ocorrer escurecimento geral em algumas espécies	-20	14000	4 horas
Ácido clorídrico	Necrose tipo ácida queimadura de pontas em algumas espécies, necrose da margem das folhas de plantas tipo folhas largas	-5-10	11200	2 horas
Gás sulfídrico	Chamuscamento basal e marginal	20	28000	5 horas
Ácido sulfúrico	Pontos necróticos na superfície superior da folha similar a lesões de compostos ácidos ou básicos	--	--	---

Anexo H

Exemplos de projetos contemporâneos com a utilização de Coberturas Naturadas

Kevin Roche & John Dinkerloo - Museu de Oakland, Califórnia, EUA, 1961

Riken Yamamoto - Universidade de Saitama, Yokohama, Japão, 1999

Atelier 5 - Residências Halem, Berne, Suíça, 1962

Tadao Ando - Apartamentos Rokko II, Kobe, Japão, 1993

Giancarlo de Carlo - Residências de Estudantes, Urbino, Itália, 1962-83

Renzo Piano - Califórnia Academy of Science, San Francisco, 2007

Jean Nouvel - Musée du quai Branly, Paris, 2006

Terry Guen Design Associates, Inc. - Millennium Park, Chicago, USA, 2004

Punggol Roof Garden, Singapura, Singapura, 2003

Emilio Ambasz - Schlumberger Research Laboratories, Austin, Texas, EUA, 1983.

Emilio Ambasz - ACROS Building, Fukuoka, Japão, 1995.

Peter Noever - The Pit, Breitenbrunn, Austria, 1971.

Gustav Peichl - EFA Radio Satellite Station, Aflenz, Austria, 1979.

Ushida-Findlay Partnership - Tsukuba, Japão, 1994.

Arthur Quarmby - Underhill, Yorkshire, Inglaterra, 1974.

Peter Vetsch - Nine Houses, Dietikon, Suíça, 1993.

Jourda and Perraudin - Cité Scolaire Internationale de Lyon, Lyon, França, 1992.

Olson / Sundberg - Filucy Bay Residence, Washington, EUA, 1968.

Obie Bowman - Brunsell Residence, California, EUA, 1987.

Shigeru Ban - Atsushi Imai Memorial Gymnasium, Akita, Japão, 2002.

Behnisch & Partners - Norddeutsche Landesbank, Hanover, Alemanha, 2002.

FOA - Yokohama International Port Terminal, Yokohama, Japão, 2002.

Ken Yeang - Mewah Oils Headquarters Pulau Inpah Park, Selangor, Malásia, 2003.

Anexo I

Custos das Coberturas Naturadas em Singapura

Fonte: WONG, N. H. *et al.* **Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore.** Building and Environment, v. 38, n. 3, p. 499-509, 2003c.

Structural costs of the roof decks with and without roof garden

Description	Rate (\$/m ²)
<i>Structural roof deck WITH roof garden</i>	
120 mm thick precast prestressed conc planks	36.00
230 mm thick structural conc topping	60.00
Structural cost, Sr	96.00
<i>Structural roof deck Without Roof garden</i>	
110 mm thick precast prestressed conc planks	34.00
115 mm thick structural conc topping	30.00
Structural cost, So	64.00

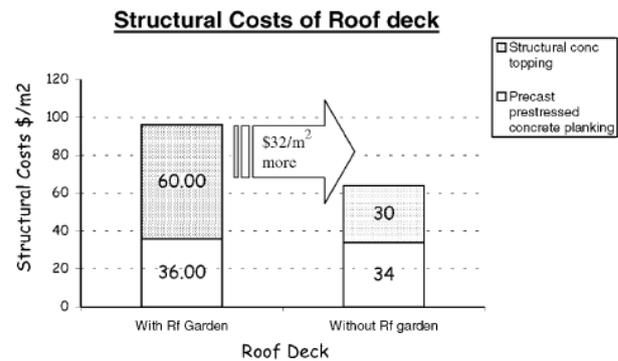


Fig. 3. Structural costs of roof decks (inaccessible rooftops).

Summary of initial costs of inaccessible rooftops

Inaccessible rooftop		Initial costs		Difference (\$/m ²)	% Extra
		\$	\$/m ²		
Base case	Exposed roof	98,500.00	49.25		
Case 1	100% turfing	179,725.00	89.86	40.61	82.46

Summary of initial costs of accessible rooftops

Accessible rooftops		Initial costs		Difference (\$/m ²)	% Extra
		\$	\$/m ²		
Base case	Built-up roof	263,200.00	131.60		
Case a	80% shrubs	357,850.00	178.93	47.33	35.97
Case b	50% trees	394,317.50	197.16	65.56	50.00

Summary of results of LCC analysis for inaccessible rooftops

Inaccessible rooftops	Initial \$	LCC \$
Base case 1—Exposed roof	98,500.00	226,500.00
Case 1—100% turf	179,725.00	231,905.00
Difference	-81,225.00	-5,405.00
% Savings	-82.5	-2.4
SIR		0.93
AIRR		5.97%
Simple payback period		15
Discounted payback		—

Note: LCC refers to total present value life cycle costs.

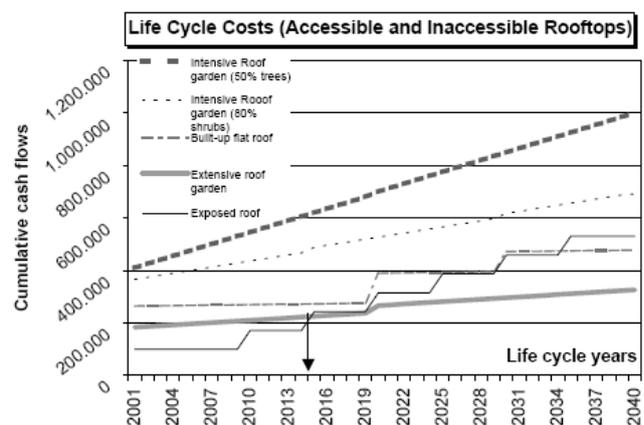


Fig. 4. Life cycle costs (excluding energy costs).

Summary of results of LCC analysis for accessible rooftops

	Initial \$	LCC
<i>Accessible rooftops (shrubs)</i>		
Base case 2—Built-up roof	263,200.00	319,297.00
Case A—80% shrubs	357,850.00	480,000.00
Difference	-94,650.00	-160,703.00
% Savings	-36.0	-50.3
<i>Accessible rooftops (trees)</i>		
Base case 2—Built-up roof	263,200.00	319,297.00
Case B—50% trees	394,317.50	617,357.00
Difference	-131,117.50	-298,060.00
% Savings	-49.8	-93.3

Note: LCC refers to total present value life cycle costs.

Comparison of results of LCC (energy) and LCC

		LCC	LCC (Energy\$)	Increase in % savings
<i>Inaccessible rooftops</i>				
Base case 1	Exposed roof	226,500.00	632,948.00	
Case 1	100% turf	231,905.00	579,121.00	
Difference		-5,405.00	53,827.00	
% Savings		-2.4	8.5	11.0
SIR		0.93	1.66	
AIRR		0.06	0.08	
Simple payback period		15	10	
Discounted payback		—	20	
<i>Accessible rooftops (shrubs)</i>				
Base case 2	Built-up roof	319,297.00	670,598.00	
Case A	80% shrubs	480,000.00	821,089.00	
Difference		-160,703.00	-150,491.00	
% Savings		-50.3	-22.4	28.0
<i>Accessible rooftops (trees)</i>				
Base case 2	Built-up roof	319,297.00	670,598.00	
Case B	50% trees	617,357.00	956,404.00	
Difference		-298,060.00	-285,806.00	
% Savings		-93.3	-42.6	50.7

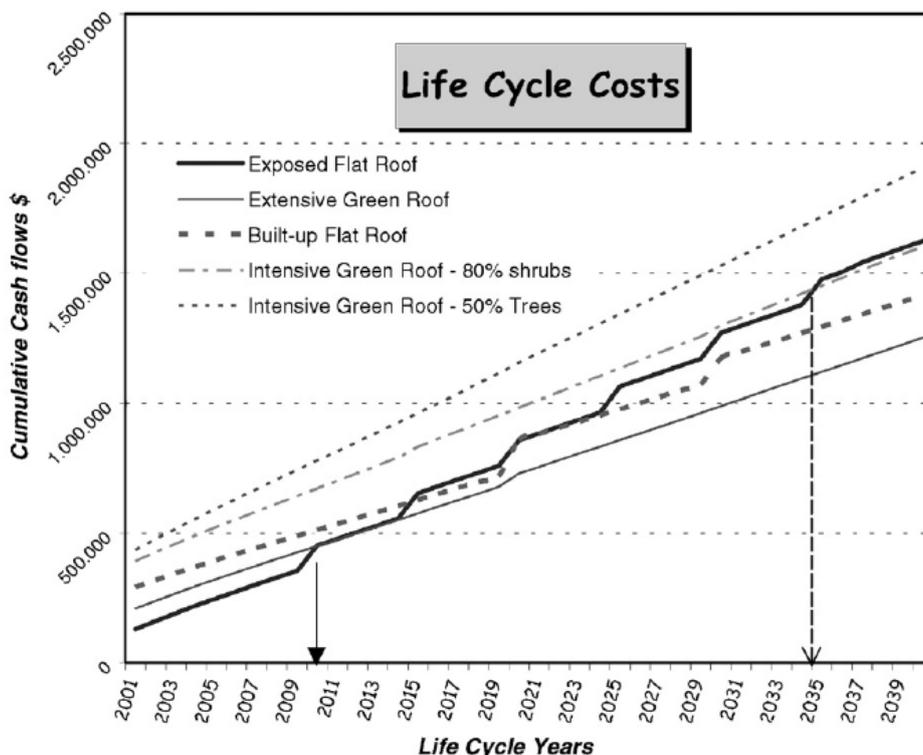


Fig. 5. Life cycle costs (including energy costs) at 6.15% discount rate.

Energy savings summary

	Energy type saved (kWh)	Average annual consumption			Life-cycle savings	%
		Base case	Alternative	Savings		
Comparison 1	Electricity	199,000	170,000	29,000	1,160,000	14.6
Comparison 2a	Electricity	172,000	167,000	5,000	200,000	2.9
Comparison 2b	Electricity	172,000	166,000	6,000	240,000	3.5

Summary of life cycle energy savings in monetary terms

		Annual energy consumption		Rates (\$/kW h ^a)	Total energy expenses (\$)	Annual savings (\$)	Life cycle savings (\$)
		MW h	kW h				
<i>Inaccessible rooftops</i>							
Base case 1	Exposed roof	199	199,000	0.1646	32,755.40		
Case 1	100 turfing	170	170,000	0.1646	27,982.00	4,773.40	190,936.00
<i>Accessible rooftops</i>							
Base case	Built-up roof	172	172,000	0.1646	28,311.20		
Alternative 1	80% shrubs	167	167,000	0.1646	27,488.20	823.00	32,920.00
Alternative 2	50% trees	166	166,000	0.1646	27,323.60	987.60	39,504.00

^aRates as of 1 November, low tension non-residential charges.

Summary of % net savings for each options under each approach

Type (%)	Inaccessible roofs		Accessible roofs	
	Extensive		Intensive (shrubs)	Intensive (trees)
Initial costs	-82.5		-36.0	-49.8
LCC	-2.4		-50.3	-93.3
LCC (energy)	+ 8.5		-22.4	-42.6

Note: Comparisons of two roof types are made to different base cases.

Anexo J

Variáveis do Material "EcoRoof", utilizado pelo Software Energy Plus para a simulação das Coberturas Naturadas.

Fonte: "Energy Plus Input Output Reference Guide", US Department of Energy, p. 112-116, 2007.

Material:EcoRoof

A definição desta variável deve ser utilizada para similar o modelo das coberturas naturadas (ecoroof). Este material funciona como a camada (layer) exterior da cobertura de uma construção. Na versão utilizada do Energyplus (2.1.0), apenas um único material pode ser utilizado como uma camada de cobertura vegetal. Além disso, o modelo de cobertura naturada só foi testado com o algoritmo de simulação CTF do Energyplus Um aviso será dado caso seja utilizado outro algoritmo.

Field: Name

Este campo define o nome da camada de cobertura naturada criado pelo usuário.

Field: Height of Plants

Este campo define a altura das plantas em metros. O campo é limitado pela faixa de valores entre 0,01m e 1,00m

Field: Leaf Area Index

Este campo define a área de projeção de folhas sobre a área de superfície de solo (LAI). Esta variável é adimensional e é limitada pela faixa de valores entre 0,001 e 5,0.

Field: Leaf Reflectivity

Este campo representa a fração de radiação solar incidente que é refletida pela superfície individual de uma folha. Na radiação solar está incluído o espectro visível, bem como as ondas ultravioletas e infravermelhas. Os valores para este campo variam entre 0,1 e 0,4.

Field: Leaf Emissivity

Este campo é a porcentagem de radiação térmica emitida pela superfície das folhas em relação ao corpo negro ideal, na mesma temperatura. Este parâmetro é utilizado quando é calculada a troca de radiação de comprimento de ondas longo na superfície das folhas. Os valores para este campo devem estar entre 0,8 e 1,0 (1,0 representa o valor do corpo negro ideal).

Field: Minimum Stomatal Resistance

Este campo representa a resistência das plantas ao transporte de umidade, medido em s/m (segundos/metro).

As plantas com baixos valores de resistência dos estômatos possuem uma taxa maior de evapotranspiração. Os valores deste campo podem variar de 50,0 a 300,0.

Field: Name of the Soil Layer

Este campo define o nome de referência a ser utilizado como a camada de substrato de uma cobertura vegetal específica.

Field: Roughness

Este campo define a rugosidade relativa de uma camada de material. Este parâmetro influencia apenas os coeficientes de convecção, mais especificamente o coeficiente de convecção exterior. Para definir a rugosidade, este campo aceita as seguintes opções: "VeryRough", "Rough", "MediumRough", "MediumSmooth", "Smooth", e "VerySmooth".

Field: Thickness

Este campo define a espessura da camada de material em metros. Esta espessura deve ser medida perpendicularmente ao principal caminho percorrido pela condução de calor. O valor deve ser positivo.

Field: Conductivity

Este campo define a Condutividade térmica de uma camada de material. A unidade deste parâmetro é W/ (m-K). O valor deve ser positivo.

Field: Density

Este campo define a densidade da camada de material em kg/m³. O valor deve ser positivo.

Field: Specific Heat

Este campo define o calor específico de uma camada de material em J/ (kg-K). Esta unidade é diferente da utilizada usualmente em livros e referências, que costumam utilizar as unidades kJ/ (kg-K) ou J/ (g-K). Esta unidade foi escolhida devido a uma inconsistência interna do Energyplus. O valor deve ser positivo.

Field: Absorptance:Thermal

O campo da absorção térmica representa a fração da radiação de ondas longas incidentes que é absorvida pelo material. Este parâmetro é utilizado quando é feito o cálculo da troca da radiação de ondas longas entre várias superfícies e afeta o balanço térmico da superfície (internamente e externamente). Os valores deste campo podem variar entre 0 e 1 (o valor 1 representa as condições do corpo negro)

Field: Absorptance:Solar

O campo de absorção solar representa a fração de radiação solar incidente que é absorvida pelo material. A radiação solar inclui o espectro visível, bem como os raios ultravioletas e infravermelhos.

Este parâmetro é utilizado quando é feito o cálculo da quantidade de radiação solar incidente absorvida pelas várias superfícies e afeta o balanço térmico da superfície (internamente e externamente). Os valores para este campo variam entre 0 e 1.

Field: Absorptance:Visible

O campo de absorção visível representa a fração de radiação solar incidente visível que é absorvida pelo material. A radiação visível é ligeiramente diferente da radiação solar. A banda de ondas visíveis é muito mais estreita, enquanto a radiação solar inclui o espectro visível, bem como as ondas infravermelhas e ultravioletas. Este parâmetro é utilizado quando é feito o cálculo da quantidade de radiação absorvida visível incidente pelas várias superfícies, e afeta o balanço térmico das superfícies e afeta o balanço térmico da superfície (internamente e externamente), bem como os cálculos da iluminação natural. Os valores para este campo variam entre 0 e 1.

Anexo K

Dados de entrada no Energyplus para os tipos de cobertura utilizados nas simulações.

Os dados utilizados foram obtidos de arquivos modelos gerados pelo LABEEE da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis (www.labeee.ufsc.br), com exceção dos dados das coberturas naturadas, que foram obtidos de modelos fornecidos pelo próprio Energyplus e com alterações sugeridas pelo seu manual:

```
!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:REGULAR =====
```

```
MATERIAL:REGULAR,
```

```
  Ceram Tij 8 fur quad (9 cm), !- Name  
  Rough,           !- Roughness  
  0.014,          !- Thickness {m}  
  0.9,            !- Conductivity {W/m-K}  
  2252,           !- Density {kg/m3}  
  920,            !- Specific Heat {J/kg-K}  
  0.9,            !- Absorptance:Thermal  
  0.15,           !- Absorptance:Solar  
  0.15;           !- Absorptance:Visible
```

```
MATERIAL:REGULAR,
```

```
  Argamassa de reboco (25 mm), !- Name  
  Rough,           !- Roughness  
  0.025,          !- Thickness {m}  
  1.15,           !- Conductivity {W/m-K}  
  2000,           !- Density {kg/m3}  
  1000,           !- Specific Heat {J/kg-K}  
  0.9,            !- Absorptance:Thermal  
  0.8,            !- Absorptance:Solar  
  0.8;            !- Absorptance:Visible
```

MATERIAL:REGULAR,

Concreto maciço (10 cm), !- Name
Rough, !- Roughness
0.1, !- Thickness {m}
1.75, !- Conductivity {W/m-K}
2400, !- Density {kg/m3}
1000, !- Specific Heat {J/kg-K}
0.9, !- Absorptance:Thermal
0.8, !- Absorptance:Solar
0.8; !- Absorptance:Visible

MATERIAL:REGULAR,

Piso madeira (10 mm), !- Name
Rough, !- Roughness
0.01, !- Thickness {m}
0.14, !- Conductivity {W/m-K}
600, !- Density {kg/m3}
2300, !- Specific Heat {J/kg-K}
0.9, !- Absorptance:Thermal
0.8, !- Absorptance:Solar
0.8; !- Absorptance:Visible

MATERIAL:REGULAR,

Telha de fibro-cimento (7 mm), !- Name
Rough, !- Roughness
0.007, !- Thickness {m}
0.95, !- Conductivity {W/m-K}
1900, !- Density {kg/m3}
840, !- Specific Heat {J/kg-K}
0.9, !- Absorptance:Thermal
0.8, !- Absorptance:Solar
0.8; !- Absorptance:Visible

MATERIAL:REGULAR,

Laje de concreto (10 cm),!- Name
Rough, !- Roughness
0.1, !- Thickness {m}
1.75, !- Conductivity {W/m-K}
2200, !- Density {kg/m3}

1000, !- Specific Heat {J/kg-K}
0.9, !- Absorptance:Thermal
0.8, !- Absorptance:Solar
0.8; !- Absorptance:Visible

MATERIAL:REGULAR,

Aluminio, !- Name
MediumRough, !- Roughness
0.001, !- Thickness {m}
230, !- Conductivity {W/m-K}
2700, !- Density {kg/m3}
880, !- Specific Heat {J/kg-K}
0.1, !- Absorptance:Thermal
0.2, !- Absorptance:Solar
0.2; !- Absorptance:Visible

MATERIAL:REGULAR,

Telha de barro (1 cm), !- Name
Rough, !- Roughness
0.01, !- Thickness {m}
1.05, !- Conductivity {W/m-K}
2000, !- Density {kg/m3}
920, !- Specific Heat {J/kg-K}
0.9, !- Absorptance:Thermal
0.8, !- Absorptance:Solar
0.8; !- Absorptance:Visible

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:REGULAR-R =====

MATERIAL:REGULAR-R,

La de Vidro 50, !- Name
rough, !- Roughness
1.67, !- Thermal Resistance {m2-K/W}
0.9, !- Absorptance:Thermal
0.5, !- Absorptance:Solar
0.5; !- Absorptance:Visible

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:AIR =====

MATERIAL:AIR,

Câmara ar fluxo horizontal (2 - 5 cm) , !- Name
0.16; !- Thermal Resistance {m2-K/W}

MATERIAL:AIR,

Câmara ar fluxo vert alta emis (> 5 cm), !- Name
0.21; !- Thermal Resistance {m2-K/W}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:WINDOWGLASS =====

MATERIAL:WINDOWGLASS,

CLEAR 3MM, !- Name
SpectralAverage, !- Optical Data Type
, !- Name of Window Glass Spectral Data Set
0.003, !- Thickness {m}
0.837, !- Solar Transmittance at Normal Incidence
0.075, !- Solar Reflectance at Normal Incidence: Front Side
0.075, !- Solar Reflectance at Normal Incidence: Back Side
0.898, !- Visible Transmittance at Normal Incidence
0.081, !- Visible Reflectance at Normal Incidence: Front Side
0.081, !- Visible Reflectance at Normal Incidence: Back Side
0, !- IR Transmittance at Normal Incidence
0.84, !- IR Hemispherical Emissivity: Front Side
0.84, !- IR Hemispherical Emissivity: Back Side
0.9; !- Conductivity {W/m-K}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:ECOROOF =====

MATERIAL:ECOROOF,

CobNat1, !- Name
0.5, !- Height of Plants {m}
5, !- Leaf Area Index {dimensionless}
0.2, !- Leaf Reflectivity {dimensionless}
0.95, !- Leaf Emissivity
180, !- Minimum Stomatal Resistance (s/m)
EcoRoofSoil, !- Name Of the Soil Layer
MediumSmooth, !- Roughness

0.18, !- Thickness {m}
 0.4, !- Conductivity (dry soil) {W/m-K}
 641, !- Density (dry soil) {kg/m³}
 1100, !- Specific Heat (dry soil) {J/kg-K}
 0.95, !- Absorptance:Thermal
 0.8, !- Absorptance:Solar
 0.7, !- Absorptance:Visible
 0.4, !- Max volumetric moisture content of the soil layer (saturation)
 0.01, !- Min (residual) volumetric moisture content of the soil layer
 0.2; !- Initial volumetric moisture content of the soil layer

MATERIAL:ECOROOF,

CobNat2, !- Name
 0.5, !- Height of Plants {m}
 0.5, !- Leaf Area Index {dimensionless}
 0.2, !- Leaf Reflectivity {dimensionless}
 0.95, !- Leaf Emissivity
 180, !- Minimum Stomatal Resistance (s/m)
 EcoRoofSoil, !- Name Of the Soil Layer
 MediumSmooth, !- Roughness
 0.18, !- Thickness {m}
 0.4, !- Conductivity (dry soil) {W/m-K}
 641, !- Density (dry soil) {kg/m³}
 1100, !- Specific Heat (dry soil) {J/kg-K}
 0.95, !- Absorptance:Thermal
 0.8, !- Absorptance:Solar
 0.7, !- Absorptance:Visible
 0.4, !- Max volumetric moisture content of the soil layer (saturation)
 0.01, !- Min (residual) volumetric moisture content of the soil layer
 0.2; !- Initial volumetric moisture content of the soil layer

MATERIAL:ECOROOF,

CobNat3, !- Name
 0.5, !- Height of Plants {m}
 5, !- Leaf Area Index {dimensionless}
 0.2, !- Leaf Reflectivity {dimensionless}
 0.95, !- Leaf Emissivity
 180, !- Minimum Stomatal Resistance (s/m)
 EcoRoofSoil, !- Name Of the Soil Layer

MediumSmooth, !- Roughness
 0.36, !- Thickness {m}
 0.4, !- Conductivity (dry soil) {W/m-K}
 641, !- Density (dry soil) {kg/m3}
 1100, !- Specific Heat (dry soil) {J/kg-K}
 0.95, !- Absorptance:Thermal
 0.8, !- Absorptance:Solar
 0.7, !- Absorptance:Visible
 0.4, !- Max volumetric moisture content of the soil layer (saturation)
 0.01, !- Min (residual) volumetric moisture content of the soil layer
 0.2; !- Initial volumetric moisture content of the soil layer

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: CONSTRUCTION =====

CONSTRUCTION,

PAREDES, !- Name
 Argamassa de Emboço (25 mm), !- Outside Layer
 Ceram Tij 8 fur quad (9 cm), !- Layer #2
 Argamassa de Emboço (25 mm); !- Layer #3

CONSTRUCTION,

PISO,!- Name
 Argamassa de reboco (25 mm), !- Outside Layer
 Concreto maciço (10 cm), !- Layer #2
 Argamassa de reboco (25 mm), !- Layer #3
 Piso madeira (10 mm); !- Layer #4

CONSTRUCTION,

COBERTURA TIPO 1, !- Name
 Concreto Maciço (10 mm);!- Outside Layer

CONSTRUCTION,

COBERTURA TIPO 2, !- Name
 Telha de barro (1 cm)!- Outside Layer
 Câmara ar fluxo horizontal (2 - 5 cm), !- Layer #2
 Telha de barro (1 cm)!- Layer #3

CONSTRUCTION,

COBERTURA TIPO 3, !- Name

Telha de fibro-cimento (7 mm)!- Outside Layer

CONSTRUCTION,

COBERTURA TIPO 4, !- Name

Telha de fibro-cimento (7 mm)!- Outside Layer

Câmara ar fluxo vert alta emis (> 5 cm), !- Layer #2

Concreto Maciço (10 mm); !- Layer #3

CONSTRUCTION,

COBERTURA TIPO 5, !- Name

Aluminio, !- Outside Layer

La de Vidro 50!- Layer #2

Aluminio; !- Layer #3

CONSTRUCTION,

COBERTURA TIPO 6, !- Name

CobNat1, !- Outside Layer

Câmara ar fluxo vert alta emis (> 5 cm), !- Layer #2

Concreto Maciço (10 mm); !- Layer #3

CONSTRUCTION,

COBERTURA TIPO 7, !- Name

CobNat2, !- Outside Layer

Câmara ar fluxo vert alta emis (> 5 cm), !- Layer #2

Concreto Maciço (10 mm); !- Layer #3

CONSTRUCTION,

COBERTURA TIPO 8, !- Name

CobNat3, !- Outside Layer

Câmara ar fluxo vert alta emis (> 5 cm), !- Layer #2

Concreto Maciço (10 mm); !- Layer #3

CONSTRUCTION,

COBERTURA TIPO 9, !- Name

CobNat1, !- Outside Layer

Câmara ar fluxo vert alta emis (> 5 cm), !- Layer #2

Telha de fibro-cimento (7 mm); !- Layer #3

CONSTRUCTION,

JANELA,

CLEAR 3MM;

!- Name

!- Outside Layer

Anexo L

Modelo "EcoRoof", utilizado pelo Software Energy Plus para a simulação das Coberturas Naturadas.

Fonte: "Energy Plus Engineering Reference", US Department of Energy, p. 76-85, 2007.

Descrição do Modelo de Coberturas Naturadas (Ecoroof)

A análise do balanço energético segue o modelo Fast Season Soil Strength (FASST), desenvolvido por Frankenstein e Koenig para a US Army Corps of Engineers. FASST foi desenvolvido, em parte, com o objetivo de determinar a capacidade dos solos de suportar o movimento de veículos e pessoas.

O modelo FASST analisa o balanço de energia e de umidade (incluindo gelo e neve) para solos com vegetação. O modelo é unidimensional e aproveita muito outros modelos de coberturas vegetais, incluindo o BATS (Dickinson, 1986) e o SiB (Sellers, 1986). O FASST utilizado no Energyplus possui apenas algumas modificações, para adaptá-lo ao uso com camadas relativamente finas de solo. A convenção de sinais utilizada assume que todos os fluxos de calor são positivos quando a energia é absorvida dentro da camada.

Na discussão a seguir, este balanço energético é dividido em um balanço para a camada de folhas (F_f) e um balanço para a superfície do solo (F_g). As várias parametrizações para o fluxo de calor sensível e calor latente são descritas com alguns detalhes, e então a série de equações apresentada soluciona duas equações simultaneamente envolvendo as temperaturas da vegetação e da superfície do solo.

Nomeclaturas Utilizadas no modelo para coberturas naturadas FASST do Energyplus

C_1, C_2, C_3 = Coeficientes das equações de temperatura linearizadas

C_e^g = Coeficiente de transferência de massa de fluxo de calor latente

C_f = Coeficiente de transferência de massa de calor

C_n^g = Coeficiente de transferência de massa do fluxo de calor sensível ao nível do solo

C_{nn}^f = Coeficiente de transferência próximo da neutralidade na camada de vegetação

C_{nn}^g = Coeficiente de transferência próximo da neutralidade na camada do solo

$C_{p,a}$ = Calor específico do ar com uma pressão constante (1005.6 J/kg k)

e^* = Pressão de saturação do vapor (Pa)

f_1 = Fator multiplicador para o efeito de radiação na resistência dos estômatos

f_2 = Fator multiplicador para o efeito da percentagem de água na resistência dos estômatos

f_3 = Fator multiplicador adicional na resistência dos estômatos

F_f = Fluxo de calor de rede na camada de vegetação (W/m²)

F_g = Fluxo de calor de rede na camada do solo (W/m²)

g_d = Característica específica da planta relacionada à resistência dos estômatos

H_f = Fluxo de calor Sensível pela vegetação (W/m²)

H_g = Fluxo de calor Sensível pelo solo (W/m²)

I_s^\downarrow = Radiação incidente total de ondas curtas (W/m²)

I_{iy}^\downarrow = Radiação incidente total de ondas longas (W/m²)

K_v = Constante de von Karman (0.4)

l_f = Calor latente de vaporização na temperatura da vegetação (J/kg)

l_g = Calor latente de vaporização na temperatura do solo (J/kg)

L_f = Fluxo de calor latente na vegetação (W/m²)

L_g = Fluxo de calor latente no solo (W/m²)

LAI = Índice de área de folhas (m²/m²)

M_g = Fator de percentagem de água de saturação

q_a = Índice de mistura do ar

q_{af} = Índice de mistura do ar dentro da vegetação

$q_{f,sat}$ = Índice de mistura de saturação na temperatura das folhas

$q_{g,sat}$ = Índice de mistura de saturação na temperatura do solo

r_a = Resistência aerodinâmica à transpiração (s/m)
 r_s = Resistência dos Estômatos das folhas (s/m)
 $r_{s,min}$ = Resistência mínima dos Estômatos das folhas (s/m)
 r'' = fator de umidade da superfície
 R_{ib} = Constante Richardson de massa
 R_v = constante de gás para o vapor de água (461.53 J/kgK)
 T_a = Temperatura do ar na altura instrumental (Kelvin)
 T_{af} = Temperatura do ar na vegetação (Kelvin)
 T_f = Temperatura das folhas (Kelvin)
 T_g = Temperatura da superfície do solo (Kelvin)
 W = Velocidade do vento abaixo das folhas (m/s)
 W_{af} = Velocidade do vento na área das folhas (m/s)
 z = altura ou profundidade (m)
 Z_a = altura instrumental (m)
 Z_d = altura de deslocamento (m)
 Z_o^f = Escala do comprimento de rugosidade das folhas (m)

Letras Gregas

α_f = albedo (reflexividade de ondas curtas) da área das folhas
 α_g = albedo (reflexividade de ondas curtas) da superfície do solo
 $\epsilon_1 = \epsilon_g + \epsilon_f - \epsilon_f \epsilon_g$
 ϵ_f = emissividade da área das folhas
 ϵ_g = emissividade da superfície do solo
 Γ_h = fator de estabilidade
 ρ_a = densidade do ar na altura instrumental (kg/m³)
 ρ_f = densidade do ar na temperatura das folhas (kg/m³)
 ρ_{ag} = densidade do ar na temperatura da superfície do solo (kg/m³)
 σ = constante de Stefan-Boltzmann (5.699*10⁻⁸ W/m² °K⁴)
 f_σ = Fração de cobertura vegetal

Subscritos e Sobrescritos

a = ar
 af = ar na camada de folhas

e = fluxo de calor latente
 f = superfície de folhas
 g = superfície do solo
 h = Fluxo de calor Sensível
 n = etapa tempo atual
 n+1 = etapa tempo futuro
 ir = infravermelho (ou ondas longas)
 sat = valor de saturação
 S = onda curta

Balço Energético da Camada de Vegetação

O balanço energético da camada de vegetação é dado por:

$$F_f = \sigma_f \left[I_s^\downarrow (1 - \alpha_f) + \varepsilon_f I_{ir}^\downarrow - \varepsilon_f \sigma T_f^4 \right] + \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_f + L_f$$

Além da transferência de calor sensível e do calor convectivo, esta equação considera a absorção pela vegetação tanto da radiação de ondas curtas, quanto de ondas longas, incluindo o efeito de múltiplas reflexões. As variáveis do fluxo de calor sensível e latente (H_f e L_f) são complexas e por este motivo serão detalhadas a seguir.

Fluxo de Calor Sensível na Camada de Vegetação

A transferência de calor sensível entre a superfície de folhas e o ar próximo à camada de vegetação (H_f) é influenciado pela diferença de temperatura entre eles, pela velocidade do vento, e pelo Índice de Área de Folhas (LAI). O Índice de Área de Folhas é a relação adimensional da projeção de área de folhas para uma unidade de área de solo (Oke).

A fração de cobertura vegetal (σ_f) é a relação da superfície de solo sombreada em relação à área total de superfície de solo. O fluxo de calor sensível é dado por:

$$H_f = (1.1 * LAI \rho_{af} C_{p,a} C_f W_{af}) * (T_{af} - T_f)$$

Nesta equação a constante 1.1 considera a transferência de calor dos galhos e caules (Deardorff). As propriedades do ar próximo das folhas são modeladas utilizando a média das folhas e das condições instrumentais:

$$\rho_{af} = 0.5(\rho_a + \rho_f)$$

onde ρ_a é a densidade do ar na altura instrumental, e ρ_f é a densidade do ar na temperatura das folhas.

A temperatura do ar dentro das folhas é estimada por:

$$T_{af} = (1 - \sigma_f)(T_a) + \sigma_f(0.3T_a + 0.6T_f + 0.1T_g)$$

Onde T_a é a temperatura do ar na altura instrumental em Kelvin, T_f é a temperatura das folhas em Kelvin, e T_g é a temperatura da superfície do solo em Kelvin. A velocidade do vento das nas folhas é estimada por:

$$W_{af} = 0.83\sigma_f W \sqrt{C_{hm}^f} + (1 - \sigma_f)W$$

Onde W é o maior valor entre 2 m/s ou a velocidade do vento na superfície das folhas (Hughes et al.) e C_{hm}^f é o coeficiente de transferência em condições neutras de estabilidade atmosférica:

$$C_{hm}^f = K_v^2 \cdot \left(\ln \left(\frac{Z_a - Z_d}{Z_o^f} \right) \right)^{-2}$$

onde K_v é a constante de von Karmen's (0.4), Z_a é a altura instrumental, Z_d é a altura de deslocamento zero em metros (altura acima do solo onde a velocidade do vento é efetivamente zero), e Z_o^f é a escala da rugosidade da vegetação (m). As fórmulas para a altura de deslocamento zero, e rugosidade são baseadas em Balick (Balick et al.):

$$Z_d = 0.701Z_f^{0.979}$$

$$Z_o = 0.131Z_f^{0.997}$$

Finalmente, o maior coeficiente de transferência, como definido por Deardorff é dado por:

$$C_f = 0.01 * \left(1 + \frac{0.3(m/s)}{W_{af}(m/s)} \right)$$

Fluxo de Calor Latente na Camada de vegetação

O processo de perda de água através da respiração das plantas é conhecido como transpiração, e é controlado pelo abrir e fechar dos estômatos – aberturas intercelulares da epiderme (Gates). A resistência à difusão do vapor de água destes espaços para a atmosfera é chamada de resistência dos estômatos.

Depende de fatores como a intensidade da luz, percentagem de água¹ dos componentes do solo, e da diferença entre a pressão de vapor dentro das folhas e a pressão da atmosfera. Esta resistência é medida em s/m e é definida por:

$$r_s = \frac{r_{s,\min}}{LAI} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$$

Onde, $r_{s,\min}$ é a resistência dos estômatos mínima. A resistência dos estômatos, em certo momento, é proporcional a esta resistência mínima, e inversamente proporcional ao LAI.

¹ O termo *Wetness* define a quantidade de água de uma amostra, dividida pelo peso da amostra seca, o que em português, é definido por *umidade*. O termo *Moisture* define a quantidade de água de uma amostra, dividida pelo peso total da amostra, que em português, não existe definição similar, e por este motivo, neste texto está sendo definido pelo termo *percentagem de água*.

A resistência dos estômatos é modificada por fatores multiplicadores fracionários, relacionados à radiação solar incidente e a percentagem de água atmosférica. Assim como descoberto por Frankstein e Koenig, o inverso dos fatores multiplicadores f_1 , f_2 , e f_3 são dados por:

$$\frac{1}{f_1} = \min \left[1, \frac{0.004 * I_s^\downarrow + 0.005}{0.81 * (0.004 * I_s^\downarrow + 1)} \right]$$

$$\frac{1}{f_2} = \begin{cases} 0 & \text{when } \theta_r > \bar{\theta} \\ \frac{\bar{\theta} - \theta_r}{\theta_{\max} - \theta_r} & \text{when } \theta_r \leq \bar{\theta} \leq \theta_{\max} \end{cases}$$

$$\frac{1}{f_3} = \exp \left[-g_d (e_{f,\text{sat}} - e_a) \right]$$

Onde, θ_r é o índice de percentagem de água residual (definido pela percentagem de água no solo quando a planta começa a murchar), θ_{\max} é o índice de percentagem de água máxima (definido pela quantidade máxima de percentagem de água que um tipo de substrato particular pode suportar, e que se acima, promove o "run off"), e $\bar{\theta}$ é a percentagem de água média do substrato na área da raiz. O índice de percentagem de água residual é normalmente em torno de 0,01 m³/m³ (Guymon et al.). Na expressão para f_3 , g_d é a característica específica das plantas que somente para as árvores é diferente de zero, $e_{f,\text{sat}}$ é a pressão de vapor saturada na temperatura das folhas, e e_a é a pressão do vapor do ar.

A resistência à troca de percentagem de água devido à camada limite formada na superfície da folha é chamada de resistência aerodinâmica. É medida em s/m e é influenciada pela velocidade do vento, rugosidade da superfície e estabilidade da atmosfera (Oke). É formulada por:

$$r_a = \frac{1}{c_f W_{af}}$$

O efeito combinado da resistência dos estômatos e da resistência aerodinâmica é integrado em um fator de umidade da superfície das folhas:

$$r'' = \frac{r_a}{r_a + r_s}$$

Este fator de umidade da superfície é simplesmente um índice da resistência aerodinâmica em relação à resistência total. Quando a resistência aerodinâmica é pequena, o fator de umidade se aproxima de zero (as superfícies das folhas continuam secas enquanto a percentagem de água da superfície é rapidamente evaporada). A partir do momento em que a resistência aerodinâmica aumenta em relação à resistência dos estômatos, o fator de umidade se aproxima de 1,0 (a percentagem de água rapidamente vai para a superfície das folhas, mas não é facilmente evaporada).

O fluxo de calor latente é então dado por:

$$L_f = l_f * LAI \rho_{af} C_f W_{af} r'' (q_{af} - q_{f,sat})$$

Onde l_f é o calor latente de vaporização (J/kg), $q_{f,sat}$ é o índice de mistura de saturação na temperatura da superfície das folhas, e q_{af} é o índice de mistura do ar dentro da vegetação. Como desenvolvido por Frankenstein e Koenig, o índice da mistura dentro da vegetação pode ser determinado por:

$$q_{af} = \left[\frac{(1 - \sigma_f) q_a + \sigma_f (0.3 q_a + 0.6 q_{f,sat} r'' + 0.1 q_{f,sat} M_g)}{1 - \sigma_f [0.6(1 - r'') + 0.1(1 - M_g)]} \right]$$

Onde o fator M_g (variando de 0 a 1) é a relação do índice de percentagem de água volumétrica com a porosidade do solo (Koenig). O calor latente de vaporização (l_f) é a quantidade de energia necessária para converter uma unidade de massa de água em vapor. É medida em J/kg e é inversamente proporcional a temperatura. É estimado por Henderson-Sellers por:

$$l_f = 1.91846 * 10^6 \left[\frac{T_f}{T_f - 33.91} \right]^2$$

Balço da Energia do Solo

O balanço da energia na superfície do solo é influenciada principalmente pelas propriedades térmicas do solo, pela quantidade de cobertura de folhas (σ_f) e pela percentagem de água do solo. Se a superfície do solo é densamente coberta, a variação diurna da temperatura da superfície é pequena. No balanço da energia do solo, o calor emitido ou absorvido devido à mudança de fase da água do solo, ao fluxo

de calor de precipitação e ao fluxo de calor devido ao transporte vertical da água no solo são ignorados. Futuramente estes fenômenos serão incorporados à este modelo. A convenção de sinais adotada aqui é a mesma que a anterior (o fluxo de calor para dentro do solo é positivo). O balanço energético geral na superfície do solo (dada por Frankenstein e Koenig) é:

$$F_g = (1 - \sigma_f) \left[I_s^\downarrow (1 - \alpha_g) + \varepsilon_g I_{ir}^\downarrow - \varepsilon_g T_g^4 \right] - \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_g + L_g + K * \frac{\partial T_g}{\partial z}$$

Esta equação representa o fluxo de calor sensível (H_g), o fluxo de calor latente (L_g) e as múltiplas reflexões associadas com as radiações de ondas longas e ondas curtas. A parte final no lado direito representa a condução do calor dentro do substrato do solo.

Fluxo de Calor Sensível na camada de solo

O Fluxo de calor sensível entre a superfície do solo e o ar em sua vizinhança depende da diferença de temperatura entre eles, e da velocidade do vento dentro da vegetação. É dado por:

$$H_g = \rho_{ag} C_{p,a} C_h^g W_{af} (T_{af} - T_g)$$

Onde C_h^g é o coeficiente de transferência de massa, e ρ_{ag} é a densidade do ar próximo à superfície do solo (kg/m^3), dada por:

$$\rho_{ag} = \frac{p_a + p_g}{2}$$

Aqui, ρ_g é a densidade do ar na temperatura da superfície do solo.

O maior coeficiente de transferência é dado pela combinação linear do coeficiente de transferência de massa próximo ao solo (C_{fhn}) e da interface folhas-atmosfera (C_{ghn}) multiplicado pelo fator de estabilidade (Γ_h) e é definida por:

$$C_h^g = \Gamma_k \left[(1 - \sigma_f) C_{hn}^g + \sigma_f C_{hn}^f \right]$$

Os coeficientes de transferência de massa das folhas e do solo são dados por:

$$C_{hm}^g = r_{ch}^{-1} \left[\frac{K_v}{\ln\left(\frac{Z_a}{Z_o^g}\right)} \right]^2 \quad \text{e} \quad C_{hm}^f = \left[\frac{K_v}{\ln\left(\frac{Z_a - Z_d}{Z_o^f}\right)} \right]^2$$

Onde Z_o^g e Z_o^f são as rugosidades do solo e da vegetação, r_{ch} é a constante de turbulência de Schmidt (0,63), e K_v é a constante de von Karman (0,4).

A condição da atmosfera (Γ_h) é determinada como estável ou instável baseada no sinal da constante de massa de Richardson:

$$R_{ib} = \frac{2gZ_a(T_{af} - T_g)}{(T_{af} + T_g)W_{af}^2}$$

O fator de estabilidade atmosférica é dado por Businger, Lumley e Panofsky como:

$$\Gamma_h = \begin{cases} \frac{1.0}{(1.0 - 16.0R_{ib})^{0.5}} & \text{for } R_{ib} < 0 \\ \frac{1.0}{(1.0 - 5.0R_{ib})} & \text{for } R_{ib} > 0 \end{cases}$$

Fluxo de Calor Latente na camada do solo

A retirada do vapor de água da superfície do solo depende da diferença entre o índice de mistura da superfície do solo e ar e da velocidade do vento dentro da vegetação. O resultado do fluxo de calor latente é dado por:

$$L_R = C_e^g l_g W_{af} \rho_{ag} (q_{af} - q_g)$$

Onde C_e^g é o coeficiente de transferência de massa, l_g é o calor latente de vaporização à temperatura da superfície do solo, q_{af} é o índice da mistura da interface vegetação-atmosfera, e q_{af} é o índice da mistura na superfície do solo, dado por:

$$q_g = M_g q_{g,sat} + (1 - M_g) q_{af}$$

O coeficiente de transferência de massa para a troca de calor latente é análogo ao da troca de calor sensível, e é dado por:

$$C_e^g = \Gamma_e \left[(1 - \sigma_f) C_{en}^g + \sigma_f C_{hm}^f \right]$$

Onde C_{en}^g é o coeficiente de transferência de massa próximo ao solo para o fluxo de calor latente e Γ_e é o fator de correção de estabilidade da troca de calor latente (considera-se ser o mesmo que Γ_h).

Linearização das Fórmulas

Para resolver as equações de balance energético da vegetação e solo, os termos de quarta ordem T_f^4 e T_g^4 e os termos de índice de mistura $q_{g,sat}$ e $q_{f,sat}$ são linearizados, segundo Deardorff:

$$\left[T_f^{(n+1)} \right]^4 = \left[T_f^n \right]^4 + 4 \left[T_f^n \right]^3 \left[T_f^{n+1} - T_f^n \right]$$

$$\left[T_g^{(n+1)} \right]^4 = \left[T_g^n \right]^4 + 4 \left[T_g^n \right]^3 \left[T_g^{n+1} - T_g^n \right]$$

Onde $T_f^{(n+1)}$ e $T_g^{(n+1)}$ são as temperaturas da folha em um exato momento e da superfície do solo em Kelvin.

T_f^n e T_g^n são as temperaturas correspondentes em um passo anterior.

O índice da mistura de saturação no solo e na temperatura da superfície das folhas são dados por:

$$q_{g,sat}(T_g^{n+1}) = q_{sat}(T_g^n) + \left(\frac{\partial q_{sat}}{\partial T} \right)_{T_g^n} * (T_g^{n+1} - T_g^n)$$

$$q_{f,sat}(T_f^{n+1}) = q_{sat}(T_f^n) + \left(\frac{\partial q_{sat}}{\partial T} \right)_{T_f^n} * (T_f^{n+1} - T_f^n)$$

onde $q_{sat}(T_g^n)$ é o índice da mistura de saturação em um passo anterior e é definido por Garratt:

$$q_{sat}(T_g^n) = \frac{0.622e^*(T_g^n)}{P - e^*(T_g^n)}$$

Onde a pressão de vapor de saturação e^* (Pa) é avaliada na temperatura do solo a partir do passo de tempo anterior (T_g^n) como:

$$e^* = 611.2 \exp \left[17.67 \left(\frac{T_g^n - 273.15}{T_g^n - 29.65} \right) \right]$$

A derivada do índice da mistura de saturação em um passo de tempo anterior é dado por:

$$\frac{dq^*}{dT_g^n} = \left[\frac{0.622 * P}{(P - 0.378 * e^*)^2} \right] \left(\frac{de^*}{dT_g^n} \right)$$

A derivada da pressão de vapor de saturação pode ser calculada a partir da equação de Clausius-Clapeyron:

$$\frac{de^*}{dT_g^n} = \frac{l_g * e^*(T_g^n)}{(R_v * (T_g^n)^2)}$$

Onde R_v é a constante do gás para o vapor de água e l_g é o calor latente de vaporização na temperatura da superfície do solo.

As relações correspondentes do índice de mistura de saturação para a superfície das folhas podem ser obtidas pela troca de T_g por T_f nas fórmulas acima.

Equações Finais

Após a linearização, as equações finais ficam da seguinte forma:

$$C_1^f + C_2^f T_g + C_3^f T_f = 0$$

$$C_1^g + C_2^g T_g + C_3^g T_f = 0$$

Os coeficientes nestas equações resultam da combinação direta das equações do desenvolvimento anterior. Para informações mais detalhadas, devem-se verificar os estudos originais de Frankenstein e Koenig.

A seqüência final de equações é então resolvida simultaneamente para obter T_g e T_f . Uma diferença em nossa implantação do algoritmo FASST é que os termos de condução nas equações para C_1^g e C_2^g são resolvidos invertendo as funções de transferência de condução (CTF) no sistema de soluções do Energyplus.

Referências

ASHRAE. 2005. 2005 ASHRAE Handbook – Fundamentals. Chapter 16, Air flow Around Buildings, Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Balick, L. R., R. K. Scoggins, and L. E. Link. 1981. Inclusion of a simple vegetation layer in terrain temperature models for thermal IR signature prediction. IEEE Geoscience and Remote Sensing GE-19(3), pp.143-152.

Businger, J. A. 1966. In 'Arctic Heat Budget and Atmospheric Circulation', Symposium Proceedings, pp. 305-332. The Rand Corporation.

Deardorff, J.W. 1978. "Efficient Prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation", Journal Geophysical Research, pp. 1889-1902.

Dickinson, R.E., A. Henderson-Sellers, P.J. Kennedy, and M.F. Wilson. 1986. Biosphere- Atmosphere Transfer Scheme (BATS) for the NCAR community climate model. NCAR

Technical Note, TN-275+STR. ECMWF. 2002. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Integrated Forecast

System. Documentation, CY25R1 (Operational implementation 9 April 2002). <http://www.ecmwf.int/research/ifsdocs/CY25r1/Physics/Physics-08-03.html>.

Frankenstein, S., and G. Koenig. 2004. FASST Vegetation Models. U. S. Army Engineer Research and Development Center, Cold regions Research and Engineering Laboratory, ERDC/CRREL Technical Report TR-04-25.

Frankenstein, S., and G. Koenig. 2004. Fast All-season Soil Strength (FASST). U.S. Army Engineer Research and Development Center, Cold regions Research and Engineering Laboratory, ERDC/CRREL Special Report SR-04-1.

Garratt, J.R. 1992. *The Atmospheric Boundary Layer*, Cambridge university press.

Gates, D.M. 1980. *Biophysical Ecology*. New York: Springer-Verlag

Guymon, G.L., R.L. Berg, and T.V. Hromadka. 1993. *Mathematical Model of Frost Heave and Thaw Settlement in Pavements*. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL Report 93-2.

Henderson-Sellers, B. 1984. "A New Formula for Latent Heat of Vaporization of water as function of temperature", *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 10 pp. 1186-1190.

Hughes, P.A., T.J.L. McComb, A.B. Rimmer, and K.E. Turver. 1993. "A mathematical model for the prediction of temperature of man-made and natural surfaces", *International Journal of Remote Sensing* 14 (7), pp. 1383-1412.

Koenig, G.G. 1994. *Smart Weapons Operability Enhancement (SWOE) Joint Test and Evaluation (JT and E) Program: Final Report*. Dr. James P. Welch, Joint Test Director, SWOE JT and E, SWOE Report 94-10, Annex D.

Lumley, J. L. and Panofsky, H. A. 1964. 'The structure of Atmospheric Turbulence'. *Interscience Monographs and Texts in Physics and Astronomy*, Vol. XII. Wiley, New York.

Oke, T.R. 1987. *Boundary Layer Climates*, University Press, Cambridge

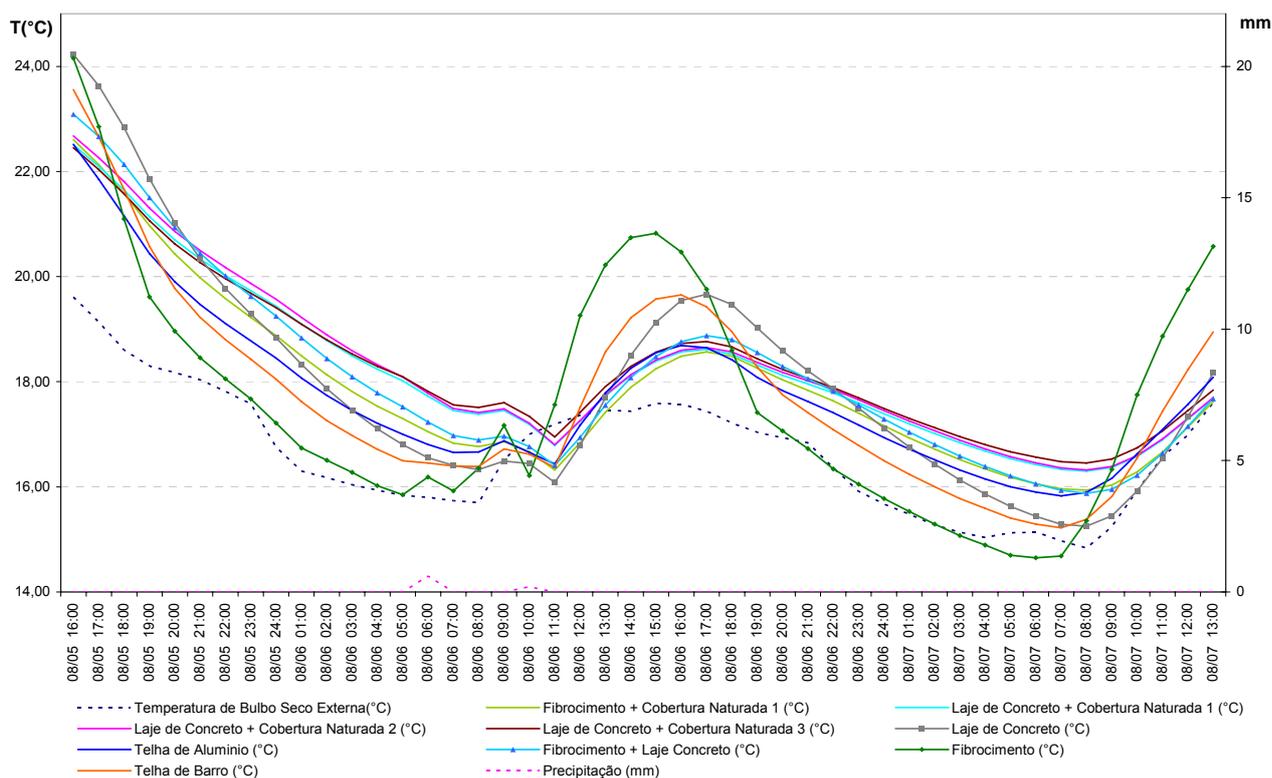
Sellers, P.J., Y. Mintz, Y.C. Sud, and A. Dalcher. 1986. A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models. *Journal of Atmospheric Science*, 43 (6), pp. 505-532.

Anexo M

Dados obtidos na simulação realizada no EnergyPlus durante o ano de 2007.

Temperatura interna do ambiente, resultados da simulação para o dia do ano com a temperatura média mais fria (06 de agosto):

Hora do Dia	Temp. Externa Bulbo Seco (oC)	Cobertura a 1 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 2 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 3 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 4 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 5 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 6 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 7 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 8 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 9 Temp. Interna (oC)
01:00	16,30	18,49	19,10	19,22	19,09	18,33	18,07	18,83	16,74	17,62
02:00	16,18	18,13	18,78	18,89	18,79	17,87	17,74	18,44	16,50	17,26
03:00	16,04	17,81	18,49	18,59	18,53	17,46	17,46	18,09	16,28	16,98
04:00	15,94	17,53	18,24	18,33	18,30	17,11	17,21	17,79	16,02	16,72
05:00	15,84	17,30	18,02	18,09	18,09	16,80	17,00	17,52	15,85	16,50
06:00	15,80	17,05	17,72	17,78	17,82	16,55	16,81	17,23	16,19	16,45
07:00	15,74	16,83	17,45	17,49	17,56	16,41	16,66	16,98	15,92	16,40
08:00	15,70	16,77	17,38	17,42	17,51	16,33	16,66	16,89	16,35	16,39
09:00	16,51	16,86	17,46	17,48	17,60	16,49	16,87	16,97	17,17	16,72
10:00	17,00	16,67	17,19	17,21	17,34	16,44	16,65	16,77	16,22	16,62
11:00	17,19	16,32	16,79	16,80	16,95	16,08	16,44	16,41	17,56	16,37
12:00	17,36	16,84	17,25	17,26	17,42	16,79	17,17	16,94	19,26	17,52
13:00	17,46	17,42	17,74	17,75	17,91	17,69	17,79	17,56	20,22	18,57
14:00	17,44	17,89	18,12	18,13	18,29	18,50	18,26	18,08	20,74	19,22
15:00	17,59	18,25	18,39	18,41	18,56	19,13	18,55	18,48	20,82	19,58
16:00	17,58	18,48	18,57	18,60	18,73	19,55	18,69	18,76	20,47	19,65
17:00	17,44	18,57	18,62	18,65	18,76	19,66	18,64	18,88	19,76	19,42
18:00	17,21	18,49	18,53	18,57	18,66	19,47	18,42	18,80	18,60	18,95
19:00	17,04	18,26	18,32	18,37	18,44	19,02	18,08	18,56	17,41	18,27
20:00	16,94	18,04	18,12	18,18	18,23	18,58	17,83	18,29	17,06	17,75
21:00	16,84	17,84	17,96	18,02	18,06	18,21	17,62	18,06	16,73	17,41
22:00	16,36	17,63	17,79	17,85	17,89	17,87	17,41	17,82	16,34	17,09
23:00	15,91	17,40	17,59	17,66	17,69	17,50	17,18	17,56	16,05	16,79
24:00	15,68	17,16	17,39	17,45	17,49	17,12	16,94	17,29	15,78	16,50



Temperatura interna do ambiente, resultados da simulação para o dia do ano com a temperatura de pico mais fria (08 de agosto):

Hora do Dia	Temp. Externa Bulbo Seco (oC)	Cobertura a 1 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 2 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 3 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 4 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 5 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 6 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 7 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 8 Temp. Interna (oC)	Cobertura a 9 Temp. Interna (oC)
01:00	18,00	18,51	18,43	18,51	18,43	18,46	18,39	18,57	17,56	18,05
02:00	17,63	18,38	18,34	18,41	18,34	18,22	18,26	18,42	17,35	17,90
03:00	16,78	18,19	18,18	18,25	18,18	17,93	18,05	18,21	16,92	17,64
04:00	15,84	17,90	17,93	18,00	17,93	17,56	17,73	17,92	16,39	17,27
05:00	15,06	17,56	17,64	17,70	17,64	17,14	17,32	17,56	15,69	16,78
06:00	14,05	17,19	17,32	17,38	17,33	16,70	16,91	17,18	15,13	16,26
07:00	13,23	16,78	16,96	17,02	16,98	16,21	16,47	16,76	14,66	15,75
08:00	13,00	16,49	16,72	16,77	16,74	15,88	16,31	16,46	15,51	15,63
09:00	14,69	16,51	16,75	16,80	16,78	16,02	16,51	16,48	17,00	16,22
10:00	17,26	16,95	17,14	17,19	17,19	16,75	17,25	16,92	19,65	17,38
11:00	18,33	17,70	17,80	17,84	17,84	17,90	18,33	17,71	22,39	19,20
12:00	18,40	18,47	18,44	18,49	18,49	19,38	19,14	18,57	24,00	20,69
13:00	18,96	19,19	18,98	19,05	19,03	20,75	19,79	19,38	24,97	21,80
14:00	21,43	19,93	19,54	19,63	19,56	22,00	20,49	20,19	25,56	22,61
15:00	22,89	20,88	20,27	20,40	20,25	23,45	21,49	21,20	26,92	23,65
16:00	23,19	21,86	21,02	21,19	20,95	24,77	22,38	22,25	26,85	24,56
17:00	23,18	22,64	21,64	21,86	21,50	25,52	22,86	22,99	25,85	24,63
18:00	22,79	23,00	21,94	22,19	21,73	25,46	22,92	23,28	24,31	24,12

19:00	21,60	22,84	21,78	22,07	21,50	24,79	22,52	23,02	22,77	23,25
20:00	20,81	22,46	21,48	21,76	21,17	23,91	21,95	22,55	21,70	22,28
21:00	20,64	22,04	21,19	21,44	20,87	23,07	21,44	22,09	21,01	21,52
22:00	20,04	21,63	20,93	21,22	20,64	22,31	21,04	21,66	20,44	20,97
23:00	19,26	21,20	20,67	20,95	20,39	21,59	20,61	21,23	19,77	20,43
24:00	18,75	20,75	20,36	20,65	20,09	20,95	20,18	20,78	19,11	19,87

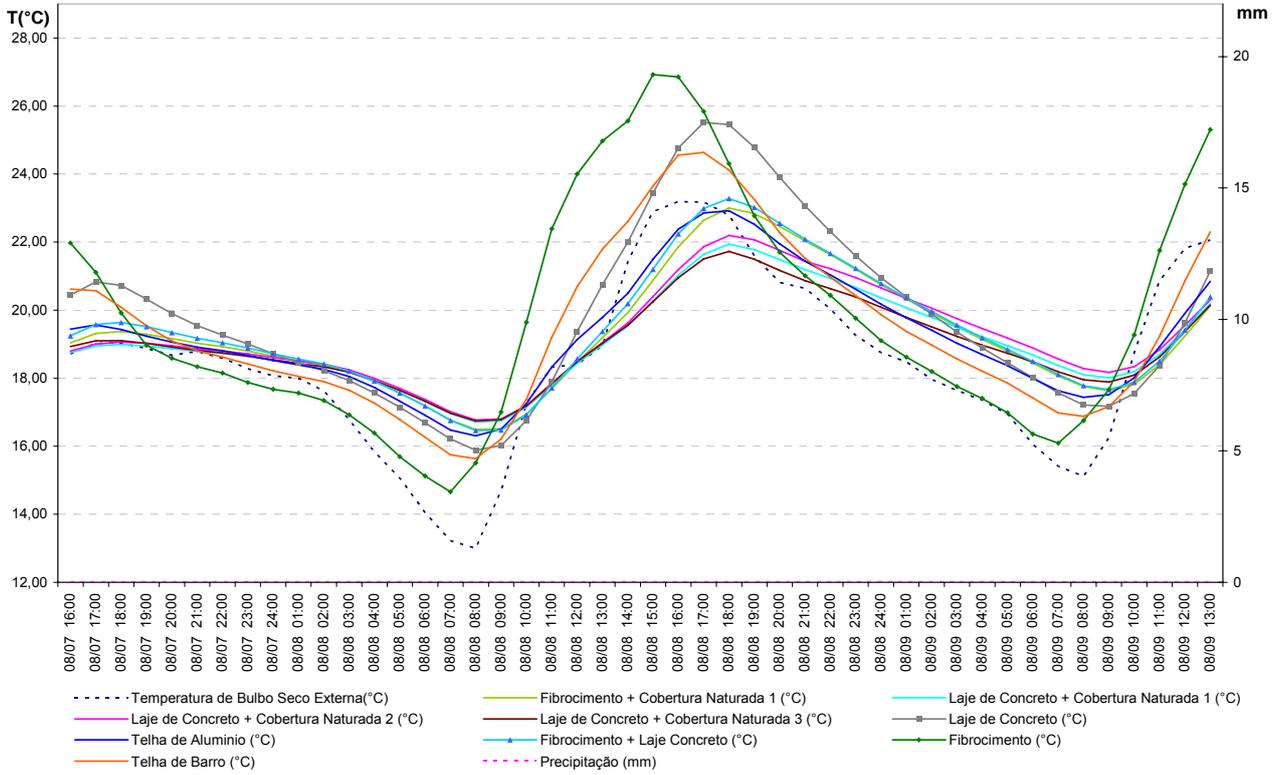


Gráfico do Período de 7 de agosto à 12 de agosto (período sem chuvas):

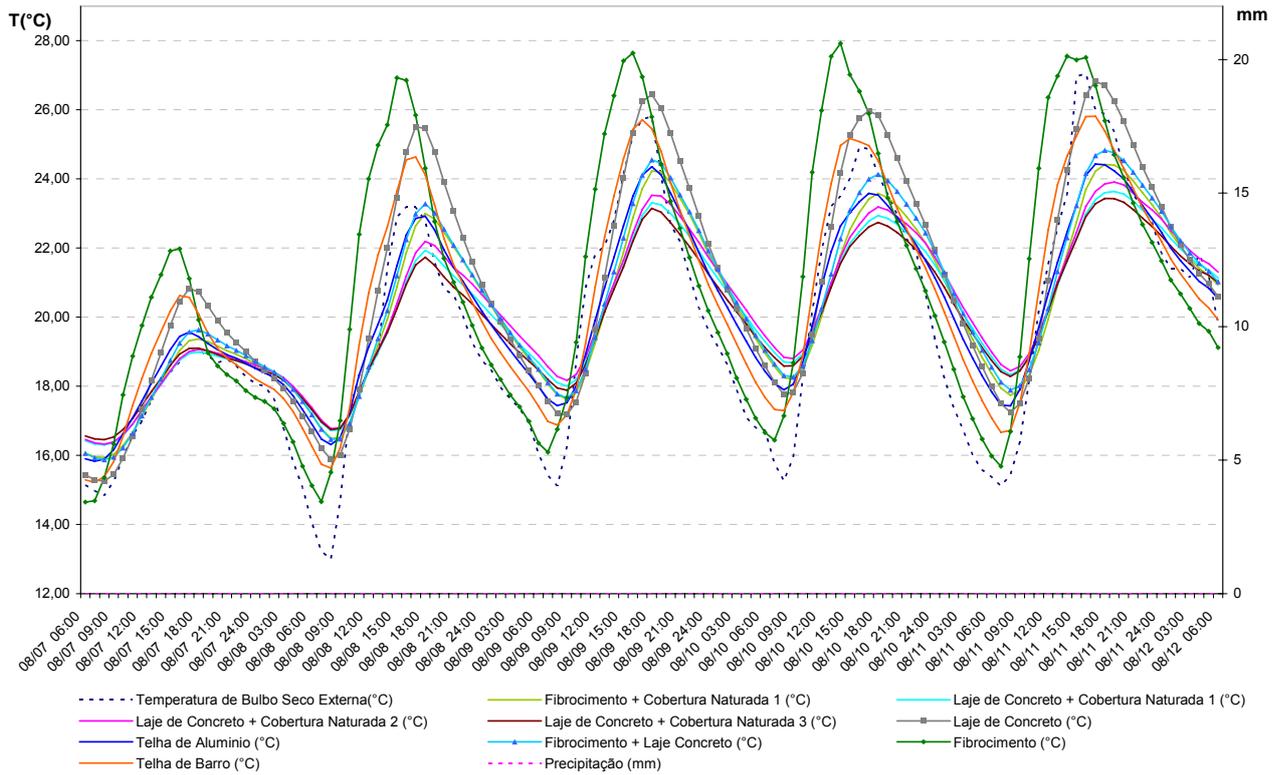


Gráfico do Período de 12 de dezembro à 15 de dezembro (período muito chuvoso):

