UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA
AMBIENTAL

APLICAÇÃO DA CLIMATOLOGIA DINÂMICA AO ESTUDO DO COMPORTAMENTO
TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES, CASO ESPECÍFICO: TELHAS PRODUZIDAS A
PARTIR DA RECICLAGEM DE CAIXAS ACARTONADAS.

Mestrando: Jaime Andrés Quiroa Herrera

Orientador: Prof. Dr. Francisco Vecchia

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências de Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

São Carlos, SP

2008

A mis Padres y hermanos por el
cariño y apoyo incondicional
recibido, que sin el esto no
hubiera sido posible.

AGRADECIMENTOS

A meus pais Alma e Jaime pelo amor, paciência, e compreensão neste caminho da aprendizagem que é a vida, os meus irmãos Darya, Lourdes e Nicolas por ter sido meus colegas e cúmplices neste recorrido.

A Marília pelo companheirismo e amizade, e a sua família Marco, Marilusa e Marquinhos.

A Meu orientador Francisco Vecchia pela orientação nesta nova aventura que é a pesquisa, e a sua família: Zeze, Erica, Nilo e Luisa.

A meu professor e amigo Gabriel Castañeda pelo apoio proporcionado durante estes anos.

A meus amigos pelos belos momentos vividos.

A Universidade de São Paulo e ao Programa de Pós-Graduação pela oportunidade de realizar o mestrado.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa concedida para o desenvolvimento de esta pesquisa.

HERRERA, Q. J. A. 2008. **Aplicação da climatologia dinâmica ao estudo do comportamento térmico das edificações, caso específico: telhas produzidas a partir da reciclagem de caixas acartonadas.** Dissertação (Mestrado) – Programa da Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, CRHEA – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos.

RESUMO

Nesta investigação aprofundou-se no estudo do comportamento térmico das telhas Ibaplac, fabricada com embalagens pós consumo de Tetra Pak®, fazendo um estudo comparativo com outros sistemas construtivos de cobertura convencionais. O projeto enfoca o estudo térmico da cobertura, já que esta é uma parte da construção que recebe e absorve grande quantidade de energia pela radiação solar, influenciando diretamente na temperatura interna da edificação podendo provocar temperaturas internas de desconforto. Isso que pode ocasionar prejuízo na saúde dos usuários, e também na economia, pela utilização aparelhos de condicionamento do ar interior para eliminar o desconforto térmico provocando maior consumo de energia. O estudo foi realizado por meio da instalação de equipamentos que coletam os dados de temperatura automaticamente. Foram monitorados diferentes espaços do interior de quatro células de teste e um protótipo de habitação popular ocupado. Foi selecionado um dia representativo das condições climáticas para análise, das temperaturas superficiais e do ar interior. Foram comparados os resultados das quatro células de teste (Telha Ibaplac-Forro Madeira, Telha Ibaplac-Forro Laje Cerâmica, Telha Fibrocimento-Forro Laje Cerâmica, Telha Cerâmica Laje Cerâmica), e do protótipo (Telha Ibaplac-Forro Ibaplac) para caracterizar o comportamento térmico num dia quente do sistema de cobertura em estudo. A análise dos dados obtidos com respeito ao comportamento térmico dos sistemas de cobertura em estudo foi realizada de acordo com a sua resposta térmica no dia representativo, determinada pela análise do período de medições. Também se utilizou das planilhas e gráficos elaborados a partir dos dados coletados pelo sistema automático de aquisição de dados “datalogger CR10X” e das imagens do satélite GOES obtidas na internet. No final foi feita a comparação do comportamento térmico dos diferentes sistemas de cobertura se levantando as conclusões finais, determinando assim o comportamento das telhas fabricadas com material reciclado Tetra Pak® em relação aos materiais convencionais estudados paralelamente.

Palavras chave: *sistemas de cobertura, elementos construtivos alternativos, comportamento térmico, dia representativo.*

HERRERA, Q. J. A. 2008. **Application of a dynamic climatology to study the thermal behavior of buildings, specific case: tiles produced from the recycling carton boxes.** Dissertação (Mestrado) – Programa da Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, CRHEA – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos.

ABSTRACT

In this research deepened the study of the thermal behavior of tiles Ibaplac, made with used packages of Tetra Pak ®, making a comparative study with other conventional systems of roofs. The project mainly focuses on the thermal study cover, because this is a part of a building that receives and absorbs large amounts of energy by solar radiation, directly influencing the internal temperature of the building and this can cause internal temperatures of discomfort, which can even cause injury on the health of users, and also the economy, for the use of internal air-conditioning equipment in order to eliminate the thermal discomfort causing higher consumption of energy. The study was conducted by the installation of equipment that collects data from temperature automatically. They were monitored different areas of the interior of four experimental cells and a test prototype of popular house occupied. Was selected a representative day for the climate analysis, of the surface temperatures and internal air temperatures. The temperature results of the four test cells (Ibaplac tile-Wood ceiling, Ibaplac tile-ceramic ceiling, asbestos tile-ceramic ceiling, ceramic tile-ceramic ceiling), and the prototype (Ibaplac tile-Ibaplac ceiling) was compared in order to determine the thermal behavior on heat of the roofs systems, compared an alternative roof system with an conventional roof systems, also analyzed in this research. A data analysis of the thermal behavior of the roof systems under study was conducted in accordance with its thermal response in heat representative day, determined for examining period of measurements, in addition to the use of excel spreadsheets and graphics compiled from data collected by the automatically acquisition system of data "datalogger CR10X" and satellite GOES images obtained from the Internet. At the end were compared the thermal behavior results of the different roof systems in order to get the final conclusions, thereby determining the behavior of tiles made from recycled material Tetra Pak ® in comparison with a conventional system of roofs studied parallel.

Key words: systems of coverage, alternative building elements, thermal behavior, representative day.

Lista de Figuras

Figura 1. Enfoques principais do desenvolvimento sustentável.	23
Figura 2. Interação entre os principais aspectos do desenvolvimento sustentável.	25
Figura 3. Nesta imagem observam-se diferentes produtos produzidos pela empresa Tetra Pak®. Fonte: Redacción Ambientum (2003).	27
Figura 4. Relação dos diferentes elementos que compõem as caixas de Tetra Pak®. Fonte: Zuben (2004).	29
Figura 5. Nas fotos se observa a aplicação do alumínio e plástico reciclado para a fabricação de cadeiras e sua aplicação em paredes e telhas. Fonte: (Tetra Pak®, 2003). .	30
Figura 6. Em A, se observa a coleta seletiva realizada na rua e transportada em caminhões. Em B, se vê a coleta seletiva transportada em carretas. Em C, se vê a separação manual do material coletado, e em D se observa a prensagem das embalagens. Fonte: Tetra Pak® (ZUBEN, 2004).	33
Figura 7. Fluxograma da Reciclagem Tetra Pak® até sua utilização na construção. Desenho feito a através das imagens pré-desenhadas do programa Power Point como resultado da informação obtida do estágio realizado na empresa Ibaplac (2006). Fonte: Indústria Ibaplac, novembro de 2006.	34
Figura 8. Fluxograma da fabricação das Telhas, feito através da informação obtida no estágio realizado na empresa Ibaplac (2006). Fonte: Indústria Ibaplac, novembro de 2006.	34
Figura 9. Acima, na foto, pacotes prensados de caixas Tetra Pak® ingressados no “Hidrapulper” para a separação do papel. Empresa Klabin, São Paulo, Brasil. Fonte: (ZUBEN, 2004).	35
Figura 10. Em A, caminhão Truck durante a chegada da matéria prima. Em primeiro plano, as embalagens espalhadas para secagem no pátio da Ibaplac. Em B, resíduos industriais de embalagens de dentríficos depositados no pátio da Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).	36
Figura 11. Em A, resíduos de embalagens de cerveja depositados no pátio da Ibaplac. Em B, resíduos industriais de plástico depositados no pátio da Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).	37
Figura 12. Em A, trator colocando os fardos no chão para secagem Em B, secagem do material já espalhado no pátio da Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).	38
Figura 13. Trator transportando resíduos de Tetra Pak do pátio de secagem ao interior da fábrica. (Ibaplac Brasil). Foto: Quiroa (2006).	39
Figura 14. 1ª Trituradora na qual passa o fardo prensado para começar a reciclagem para a elaboração das telhas, usado na empresa Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).	39
Figura 15. Em A, 2ª Trituradora de polietileno, para as telhas, usado na empresa Ibaplac. Em B, 3ª Trituradora que é usada para os resíduos de embalagens de dentrífico. Foto: Quiroa (2006).	40
Figura 16. Em A, vista do funil que succiona os fragmentos e encaminha para peneiração na empresa Ibaplac. Em B, resíduos originados da peneiração depositados no pátio da empresa Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).	41
Figura 17. Em A, a imagem mostra a formação manual da manta no molde na Ibaplac e em B, a uniformização manual da manta. Foto: Quiroa (2006).	42
Figura 18. Em A, a formação de quatro placas que serão prensadas simultaneamente na mesma prensa quente. Em B, a prensagem com emissão de vapor de água existente nas fibras de papel das caixas Tetra Pak®. Foto: Quiroa (2006).	42
Figura 19. Em A, funcionários colocando a chapa aquecida após a etapa de prensagem no molde para a conformação ondulada das telhas. Em B, as telhas acomodadas nos moldes de cilindros metálicos para sua conformação no processo de resfriamento natural. Foto: Quiroa (2006).	43

Figura 20. Em A, corte realizado para a padronização das dimensões das telhas (Ibaplac Brasil). Em B, as telhas já padronizadas, empilhadas e prontas para transportar aos pontos de venda (Ibaplac Brasil). Foto: Quiroa (2006).	44
Figura 21. Em A, o selamento de bordas, realizado manualmente com uma prancha quente. Em B, a câmara escura utilizada para verificar a existência de orifícios nas superfícies das telhas e em C, os resíduos das latas de aerossol utilizadas para revestir as imperfeições no controle de qualidade. Foto: Quiroa (2006).	45
Figura 22. Em A, as placas de aglomerado recém saídas da prancha quente. Em B, as telhas de aglomerado acomodadas prontas para o transporte. Foto: Quiroa (2006).	46
Figura 23. Em A, vista oeste do Protótipo (kit Paliteiro) da USP, São Carlos. Em B, detalhe da face do forro Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).	47
Figura 24. Detalhe da face do forro revestida com papel alumínio. Foto: Quiroa (2006).	48
Figura 25. Ilustram-se os diferentes mecanismos de trocas térmicas da Telha. Fonte: VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003.	56
Figura 26. Ilustram-se os diferentes mecanismos de trocas térmicas do Forro. Fonte: VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003.	57
Figura 27. Em A, observa-se uma telha no chão. Na Figura B, observa-se o corte transversal da telha e em C, observa-se a cobertura de alumínio da telha. Foto: Quiroa (2006).	59
Figura 28. Em A, instalação das telhas Ibaplac® nas células de teste localizadas no canteiro experimental do CRHEA. Em B, instalação do equipamento de aquisição de dados dentro da célula de teste. Foto: Quiroa (2006).	60
Figura 29. Imagens obtidas na internet, Google Earth 2007. Em A, se observa a localização do Protótipo (kit Paliteiro) dentro do campus I da USP localizado no centro da cidade de São Carlos. Em B, se observa uma vista aérea do protótipo (kit Paliteiro), e em C se observa a localização do CRHEA com relação ao Campus da USP. Fonte: Google Earth 2007.	61
Figura 30. Em A, fachada Sul das células testes e em B, células de teste localizadas no canteiro experimental do CRHEA USP São Carlos. Foto: Castañeda (2006).	62
Figura 31. Em A, se observa a fachada Oeste do protótipo (kit Paliteiro) e em B, se observa a fachada Norte do protótipo (kit Paliteiro) localizado no Campus I, USP, São Carlos. Foto: Quiroa (2006).	62
Figura 32. Planta da Célula de Teste.	64
Figura 33. Cortes A-A' e B-B'.	65
Figura 34. Fachadas Laterais Norte e Sul.	65
Figura 35. Fachadas Oeste e Leste da célula teste.	65
Figura 36. Em A, se observa a Fachada Leste da célula de teste e em B, se observa a fachada Sul da célula de teste. Foto: Quiroa (2006).	66
Figura 37. Em A, fachada Norte das células de teste. Em B, implantação das Células Experimentais localizadas no campo experimental do CRHEA, USP-São Carlos. Foto: Quiroa (2006).	66
Figura 38. Desenhos da Planta e Cortes do Protótipo (kit Paliteiro).	67
Figura 39. Fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste do Protótipo (kit Paliteiro).	67
Figura 40. Protótipo (kit Paliteiro) localizado no Campus I, USP, São Carlos, o qual é analisado como um caso ocupado. Em A, se observa a vista Oeste, em B se observa a vista Norte. Em C, se observam as vistas Sul e Leste e em D, se observam as vistas Sul e Oeste. Foto: Quiroa (2006).	68
Figura 41. Anemômetro de copos utilizado para monitorar a velocidade do ar. Fonte: Campbell SCI, 2006.	69
Figura 42. Anemoscópio utilizado para monitorar a direção do vento. Fonte: Campbell SCI, 2006.	70

Figura 43. Pluviômetro utilizado para determinar a quantidade de precipitação pluvial em um determinado período do tempo. Fonte: Campbell SCI, 2006.	70
Figura 44. Piranômetro utilizado para monitorar a radiação solar. Fonte: Campbell SCI, 2006.	71
Figura 45. Higrômetro utilizado para monitorar a temperatura e umidade do ar. Fonte: Campbell SCI, 2006.	71
Figura 46. Barômetro utilizado para monitorar a pressão barométrica. Fonte: Campbell SCI, 2006.	72
Figura 47. Sistema automático de aquisição de dados. Fonte: Esquema Campbell SCI, 2006.	72
Figura 48. Multiplexador com capacidade de 32 canais. Fonte: Quiroa (2007).	73
Figura 49. Pára-raios.	73
Figura 50. Caixa Ambientalmente selada e utilizada para a proteção do equipamento que coleta os dados. Fonte: Campbell SCI, 2006.	74
Figura 51. Painel Solar. Fonte: Campbell SCI, 2006.	74
Figura 52. Regulador de Carga com Bateria 12 Volts, a qual é alimentada por uma célula fotovoltaica. Este regulador tem a função de abastecer de energia e proteger o equipamento de aquisição de dados. Fonte: Quiroa (2007).	75
Figura 53. Em A, rolo de 100 m de Termopar. Em B, ponta do eletro-soldada em atmosfera de argônio. Fonte: Quiroa (2007).	75
Figura 54. Nesta foto se observa a Telha Ibaplaç. Fonte: http://www.ibaplaç.com.br/prod_telhaal2.html	76
Figura 55. Nesta foto se observa a Telha Fibrocimento Eternit Tropical. Fonte: http://www.leodaconstrucao.com.br	77
Figura 56. Nesta foto se observa a Telha Cerâmica Tipo Romana. Fonte: http://www.aldebaraceramica.com.br	77
Figura 57. Em A, célula de Teste #6 com telha Ibaplaç e forro de madeira. Em B, célula de teste #5 com telha Ibaplaç e forro de laje cerâmica. Em C, célula de teste #11 com telha cerâmica e forro de laje cerâmica. Em D, célula de teste #4 com telha de fibrocimento e forro de laje cerâmica.	78
Figura 58. Instalação dos 5 termopares nas células de teste, 1.-monitora a Temperatura superficial da face interna da telha, 2.-monitora a temperatura do ar entre a telha e forro, 3.-monitora a temperatura superficial superior do forro, 4.-monitora a temperatura superficial inferior do forro, 5.-monitora a temperatura do ar interior da célula teste.	79
Figura 59. Esquema da forma como foram colocadas as pontas dos termopares para monitorar as temperaturas superficiais da telha.	79
Figura 60. Neste desenho se observa a posição e a forma em que foram inseridos os termopares para medir as temperaturas superficiais interiores e exteriores do forro.	80
Figura 61. Em A, foto mostrando a ponta do termopar com pasta térmica, monitorando a temperatura superficial da telha. Em B, sensor de temperatura com abrigo isolado monitorando temperatura do ar do ático. Foto: Quiroa (2007).	80
Figura 62. Localização dos termopares instalados no protótipo (kit Paliteiro) para monitorar as temperaturas interiores de ar e superficiais das paredes, forro e telhas. Os dados foram coletados e armazenados pelo sistema automático de aquisição de dados.	81
Figura 63. Nesta figura observa-se os locais onde foram colocados os termopares no protótipo (kit Paliteiro) para o monitoramento das temperaturas interiores do ar e as superficiais das paredes, forro e telhas. Os dados foram coletados e armazenados pelo sistema automático de aquisição de dados.	81
Figura 64. Ponta do termopar com pasta térmica, inserida na parede para monitorar a temperatura superficial interna. Foto: Quiroa (2007).	82

Figura 65. Neste desenho se indica a colocação da ponta do termopar inserido para monitorar as temperaturas superficiais da telha.	82
Figura 66. Em A, detalhe da ponta do termopar com pasta térmica inserida na telha para medir a temperatura superficial. Em B, detalhe do Termopar com abrigo isolado medindo a temperatura do ar entre a telha e forro. Fote: Quiroa (2007).	83
Figura 67. Neste desenho se ilustra esquematicamente a colocação e a forma em que foram inseridas as pontas dos termopares para monitorar as temperaturas superficiais interiores e exteriores do forro.	83
Figura 68. Ponta do termopar com pasta térmica, inserida no forro inferior para medir a temperatura superficial. Foto: Quiroa (2007).	83
Figura 69. Detalhe mostrando a ponta do termopar com abrigo isolado para medir a temperatura do ar interna do protótipo (kit Paliteiro). Foto: Quiroa (2008).	84
Figura 70. Gráfico da radiação solar global, do episódio representativo, de outono-inverno, se observa as diferentes etapas: pré-frontal (prenúncio-avanço), e pós-frontal (domínio-tropicalização). Na parte esquerda do gráfico, encontra-se em destaque o dia 27 de abril o qual foi selecionado como o dia representativo experimental devido às condições de excepcional calor.	90
Figura 71. Gráfico da temperatura externa do ar do episódio representativo selecionado. Nas linhas descontínuas estão marcadas as temperaturas média máxima de 26 °C e a média mínima de 16°C correspondentes ao mês de abril, tomadas das Normais Climatológicas 1961-1990. Nos dias 27-29 de abril os quais superam as temperaturas média máxima e média mínima, estão sobre o domínio da massa Tropical Atlântica (mTA), dias 30 de abril a 7 de maio ocorre o domínio da massa Polar Atlântica (mPA). Na parte esquerda do gráfico, destaca-se o dia 27 de abril.	91
Figura 72. O Gráfico da radiação solar global mostra a forma aparente da parábola indicando a ausência de nebulosidade no dia 27 de abril, definido como o dia representativo experimental.	95
Figura 73. Gráfico da temperatura externa do ar registrada no dia 27 de abril de 2008. A temperatura mínima registrada foi de 14°C, as 6:30 horas. A temperatura máxima registrada foi de 29°C, as 15:30 horas. A uma amplitude térmica foi de 15°C.	96
Figura 74. Gráfico das temperaturas superficiais da telha e do forro, registradas na célula de teste com sistema de cobertura Ibaplac-Madeira. A temperatura máxima de 40°C da telha foi as 12:00 horas, a temperatura máxima superficial superior do forro foi de 29°C com um atraso térmico de 3 horas, a temperatura superficial inferior do forro foi de 28°C com 30 minutos de atraso térmico.	97
Figura 75. Neste gráfico se observam as curvas das temperaturas do ar interna e externa do dia representativo. A temperatura máxima exterior do ar foi de 29°C as 15:30 horas, a máxima interior do ar foi de 25°C as 16:00 horas com uma diferença de 30 minutos entre estas.	99
Figura 76. Gráfico da diferença entre as temperaturas interna e externa no decorrer do dia. Observa-se que durante a noite a temperatura interior do ar (tar-int), foi maior que a temperatura exterior do ar (tar-ext), e que durante o dia, ao contrário a temperatura interior do ar (tar-int) foi menor que a temperatura exterior do ar (tar-ext).	100
Figura 77. Gráficos com as curvas das temperaturas superficiais da telha e do forro da célula com cobertura Ibaplac-Laje cerâmica, A temperatura máxima da telha superficial da telha foi de 41.5°C às 12 horas, 4 horas y 30 minutos depois se registraram as temperaturas superficiais máximas do forro, na face superior foi de 24.6°C e na face inferior foi de 24.3°C.	101
Figura 78. Gráfico das curvas das temperaturas do ar interior e exterior do dia representativo, valores que correspondem à célula de Ibaplac-Laje, a temperatura externa do	

ar atingiu o valor máximo as 15:30 horas, 1 hora depois a temperatura máxima interna do ar registrou seu valor máximo de 24.3°C.	102
Figura 79. Gráfico da curva da diferença entre a temperatura interna de ar e a temperatura externa de ar no decorrer do dia representativo. É possível observar que no período das 18:30 às 7:00 horas, a temperatura interna do ar (tar-int) foi maior que a temperatura externa do ar (tar-ext) e que no período das 7:00 às 18:30 horas a temperatura interior de ar (ter-int) foi menor que a temperatura exterior de ar (tar-ext).	103
Figura 80. Gráfico das curvas como os valores das temperaturas superficiais, a temperatura da telha teve o valor máximo de 45.2°C as 12:00 horas, a temperaturas superior do forro registrou o valor Máximo de 26.3°C 3 horas e 30 minutos depois, a temperatura inferior do forro teve 25.3°C as 15:30 horas, 1 hora 30 minutos depois que a temperatura máxima superior do forro.	105
Figura 81. Gráfico das curvas com valores das temperaturas do ar interno e externo do dia representativo experimental. A temperatura máxima externa do ar foi de 29°C as 15:30 horas, a temperatura máxima interna do ar foi de 25°C as 16:30 horas, tendo 1 hora de diferença entre estas.	106
Figura 82. Gráfico da diferença entre a temperatura interna do ar (tar-int) e a temperatura externa do ar (tar-ext), no decorrer do dia. Observa-se que no período das 18:00 às 7:00 horas, a temperatura interna do ar (tar-int) foi maior que a temperatura do ar externa, e que no período das 7:00 às 18:00 horas, a temperatura interna de ar interna foi menor que a temperatura externa de ar (tar-ext).	107
Figura 83. Gráfico das temperaturas superficiais da telha e do forro da célula com sistema de cobertura telha fibrocimento-laje cerâmica. A temperatura superficial da telha teve o valor máximo de 52.2°C as 12:00 horas, 2 horas 30 minutos depois a temperaturas superficial superior do forro teve seu valor máximo de 32°C, e 1 hora 30 minutos depois a temperatura máxima do forro inferior foi de 28.2°C.	108
Figura 84. Gráfico das curvas das temperaturas interna do ar e exterior no dia representativo, a temperatura máxima externa foi de 29°C as 15:30 horas, a temperatura máxima interna foi de 26°C as 16:30 horas, tendo uma diferença de 1 hora entre estas.	110
Figura 85. Gráfico da diferença entre a temperatura interior do ar (tar-int) e a temperatura exterior do ar (tar-ext) no decorrer do dia representativo. Observa-se que no período das 18:00 às 7:00 horas, a temperatura do ar interior (tar-int) foi maior que a temperatura do ar exterior (tar-ext). No período das 7:00 às 18:00 horas, a temperatura interior do ar (tar-int) foi menor que a temperatura exterior do ar (tar-ext).	111
Figura 86. Gráfico das curvas das temperaturas superficiais da telha e do forro do protótipo (kit Paliteiro) com sistema de cobertura telha Ibaplaç-forro Ibaplaç, a temperatura superficial máxima da telha foi de 42.3°C, a temperatura máxima superficial máxima superior do forro foi de 34.9°C, a temperatura máxima inferior do forro foi de 32°C todas ocorreram as 14:30 horas.	112
Figura 87. Gráfico das curvas das temperaturas interna e externa do ar no dia representativo, a temperatura máxima externa foi de 29°C e temperatura máxima interna de 26.6°C, as duas ocorreram as 15:30 horas.	114
Figura 88. Gráfico da diferença entra a temperatura exterior do ar (tar-int) e a temperatura exterior do ar, no decorrer do dia. No período das 17:30 às 7:30 horas a temperatura de ar interior (tar-int) foi maior que a temperatura de ar exterior (tar-ext). No período das 7:30 às 17:30 a temperatura do ar interior (tar-int) foi menor que a temperatura do ar exterior (tar-ext).	115
Figura 90. Gráfico que ilustra os valores horários das temperaturas superficiais internas tomadas das telhas utilizadas nas células de teste e no protótipo (kit paliteiro).	117

Figura 91. Gráfico que ilustra os valores horários das temperaturas do ar registradas nos áticos das quatro células e do protótipo (kit paliteiro) no dia representativo.	120
Figura 92. Gráfico ilustrando os valores horários das temperaturas superficiais superiores dos forros registrados nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro) no dia representativo.	123
Figura 93. Gráfico ilustrando os valores horários das temperaturas superficiais inferiores dos forros utilizados nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro) no dia representativo.	127
Figura 94. Gráfico com os valores horários das temperaturas internas do ar registradas nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro) no dia representativo.	130

Lista de Tabelas

Tabela 1. Características de Aglomerado de Tetra Pak® (INCHE J. M. et.al., 2003)	30
Tabela 2. Quadro referente ao deslocamento da matéria prima, elaborado de acordo com a informação fornecida durante o estágio feito na empresa Ibaplac. Fonte: Indústria Ibaplac, novembro de 2006.	37
Tabela 3. Atributos das placas e telhas fabricadas com resíduos de embalagens de Tetra Pak®. Fonte: (INCHE J. M. et.al., 2003)	52
Tabela 4. Sensores instalados na base meteorológica básica no CRHEA, USP	69
Tabela 5. Descrição das imagens do satélite GÓES (CPTEC-INPE, 2008), nos dias correspondentes ao episódio representativo nas suas diferentes etapas.....	92
Tabela 6. Síntese dos valores das temperaturas superficiais registradas na célula de teste telha Ibaplac-Madeira.	98
Tabela 7. Síntese contendo os valores das temperaturas do ar registradas na célula de teste telha Ibaplac-Madeira.	98
Tabela 8. Síntese contendo os valores das temperaturas superficiais registradas na célula de teste telha Ibaplac-Laje cerâmica.	101
Tabela 9. Síntese dos valores das temperaturas do ar registradas na célula de teste telha Ibaplac-Laje cerâmica.....	103
Tabela 10. Síntese contendo os valores das temperaturas superficiais registradas na célula de teste telha cerâmica-Laje cerâmica.	104
Tabela 11. Síntese contendo os valores das temperaturas do ar registradas na célula de teste telha cerâmica-Laje cerâmica.	106
Tabela 12. Síntese contendo os valores das temperaturas superficiais registradas na célula de teste Fibrocimento-Laje cerâmica.	109
Tabela 13. Síntese contendo os valores das temperaturas do ar registradas na célula de teste telha Fibrocimento-Laje cerâmica	109
Tabela 14. Síntese contendo os valores das temperaturas superficiais registradas no protótipo (kit Paliteiro) com sistema de cobertura telha Ibaplac-forro Ibaplac	113
Tabela 15. Síntese contendo os valores das temperaturas do ar registradas no protótipo (kit Paliteiro) com sistema de cobertura telha Ibaplac-forro Ibaplac	113
Tabela 16. Síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas superficiais das telhas das células de teste e do protótipo (kit paliteiro).	118
Tabela 17. Síntese dos valores das temperaturas máximas e mínimas do ar no ático registradas nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro).....	121
Tabela 18. Síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas superficiais superiores dos forros das células de teste e do protótipo.	124
Tabela 19. Síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas superficiais inferiores dos forros utilizados nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro).	128
Tabela 20. Síntese dos valores máximos e mínimos temperaturas do ar registradas no protótipo e nas células de teste.....	131

SUMÁRIO

Abstract	- 4 -
Sumário	- 12 -
1. Introdução	15
2. Objetivos	19
2.1. Objetivo geral:	19
2.2. Objetivos específicos:	19
3. As telhas Da Reciclagem de caixas acartonadas.....	21
3.1. Dimensões da Sustentabilidade.....	22
3.1.1. O que é Desenvolvimento Sustentável?	22
3.1.1.1. Enfoque Econômico	24
3.1.1.2. Enfoque Social.....	25
3.1.1.3. Enfoque Ecológico	26
3.1.2. Reciclagem	26
3.2. As caixas Tetra Pak®.....	27
3.2.1. História	28
3.2.2. Composição	28
3.2.3. Reaproveitamento	29
3.3. A reciclagem das caixas acartonadas no Brasil e em outros países	30
3.3.1. A Matéria-Prima	31
3.3.2. Origem da Matéria-Prima.....	32
3.3.3. O Processo de Produção da Telha	33
3.3.3.1. Etapa de preparação: Separação do papel, alumínio e plástico	35
3.3.3.2. 1ª Etapa: Chegada da matéria prima.....	36
3.3.3.3. 2ª Etapa: Recebimento da matéria prima.....	38
3.3.3.4. 3ª Etapa: Secagem	38
3.3.3.5. 4ª Etapa: Trituração	39
3.3.3.6. 5ª Etapa: Peneiração	40
3.3.3.7. 6ª Etapa: Formação da manta	41
3.3.3.8. 7ª Etapa: Prensagem	42
3.3.3.9. 8ª Etapa: Conformação de Placas e Telhas.....	43
3.3.3.10. 9ª Etapa: Modulação e Padronização.....	43
3.3.3.11. 10ª Etapa: Controle de qualidade	44
3.3.3.12. Etapa final: Distribuição do produto	45
3.4. O Produto	45

3.4.1 Características do produto (Ibaplac, 2005).....	46
3.4.1.1. Telhas	46
3.4.1.2. Placas:.....	46
3.5. Aplicações.....	46
3.6. Caracterizações das dimensões de sustentabilidade das chapas e telhas de Tetra Pak®, vantagens e desvantagens	48
3.7. Vantagens da utilização de materiais recicláveis como matéria-prima	49
3.8. Clima e Tempo.....	53
3.9. Conforto Térmico	55
3.10. Mecanismos de Trocas Térmicas.....	55
3.11. Mecanismos de Trocas Térmicas em Telhados e forros.....	56
4. Materiais e Métodos.....	58
4.1. Definição dos Materiais: as Telhas.....	58
4.2. Instalações dos materiais e equipamentos	59
4.3. Caracterização da Área de Estudo	60
4.4. Características das Células de Teste	62
4.4.1. Terreno	63
4.4.2. Fundação	63
4.4.3. Alvenaria	64
4.4.4. Estrutura das Coberturas	64
4.4.5. Esquadrias	64
4.4.6. Implantação	66
4.5. Protótipo.....	66
4.6. Descrição do Equipamento utilizado para as medições.....	68
4.6.1. Descrição dos sistemas de cobertura a serem medidos	76
4.6.2. Instalação do Material em estudo	78
4.7. Instalação dos sensores e do Equipamento de Medição	78
4.7.1. Instalação dos sensores nas Células de Teste.....	78
4.7.2 Instalação dos sensores no Protótipo (kit Paliteiro)	80
4.8. Coleta de dados Climatológicos.	84
4.8.1. Pontos de Medição Automáticos.....	84
4.8.2. Protótipos e Células de Teste	85
5. Avaliação dos Dados Obtidos.....	87
5.1. Episódio representativo e dia representativo experimental	89
5.2. Dia Representativo Experimental	94
5.2.1. Radiação solar global	94
5.2.2. Temperatura externa do ar.....	95

5.3. Células Experimentais	96
5.3.1. Telha Ibaplac forro de madeira.....	96
5.3.1.1. Temperaturas Superficiais	96
5.3.1.2. Temperaturas de ar	98
5.3.2 Telha Ibaplac forro de laje cerâmica	100
5.3.2.1. Temperaturas Superficiais	100
5.3.2.2. Temperaturas de Ar	102
5.3.3. Telha Cerâmica forro laje cerâmica.....	104
5.3.3.1. Temperaturas Superficiais	104
5.3.3.2. Temperaturas de ar	105
5.3.4 Telha Fibrocimento forro laje cerâmica	107
5.3.4.1. Temperaturas Superficiais	107
5.3.4.2. Temperaturas de ar	109
5.3.5. Protótipo (kit Paliteiro).....	111
5.3.5.1. Temperaturas Superficiais	111
5.3.5.2. Temperaturas de ar	113
5.5. Discussão dos Resultados Obtidos.....	116
5.5.1 Temperaturas superficiais inferiores das telhas.....	116
5.5.2. Temperaturas do ar no ático	119
5.5.3. Temperaturas superficiais superiores do Forro	122
5.5.4 Temperaturas superficiais inferiores do Forro.....	125
5.5.5 Temperatura interna do ar.....	128
6. Conclusões	132
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

1. INTRODUÇÃO

O homem utiliza uma grande quantidade de recursos não renováveis para a criação de diversas tecnologias e produtos, que acabam por se transformar em resíduos e ocasionam impactos ao meio ambiente. Por isso, considera-se importante o estudo, a análise e o desenvolvimento de novos materiais e de sistemas construtivos de forma a evitar impactos ambientais onde o homem desenvolve suas atividades.

Esse é o caso específico das telhas elaboradas a partir da reciclagem de caixas acartonadas Tetra Pak®, que é uma tecnologia que existe há quase dez anos e é um elemento construtivo que responde às diferentes demandas da construção. Além disso, é um elemento construtivo alternativo, fabricado do descarte de caixas de leite, suco e purê que são conhecidas mundialmente pelo nome da empresa que as fabrica, isto é, Tetra Pak®. A importância deste produto reciclado está no fato de que, como já mencionado, em sua fabricação utiliza-se como matéria-prima o alumínio e o plástico das embalagens descartadas. O papel é extraído pela empresa de papel Klabin, que fornece então o restante (plástico e alumínio), como matéria prima para fabricação da telha, pela IBAPLAC, localizada na cidade de Ibaté-SP.

Por isso, o processo de fabricação das telhas se caracteriza pela reciclagem do produto denominado no mercado como caixas acartonadas Tetra Pak®. Atualmente existem países na América Latina que utilizam ou reciclam essas embalagens, dentre os quais se podem mencionar Brasil, Argentina, México e Colômbia. Dentre estes, o México obtém folhas de papel, papel higiênico, etc.(INE, 2002), e também utiliza como combustível em um processo de incineração para obter energia, devido a que duas toneladas de Tetra Pak® equivalem a uma tonelada de gasolina (TEOREMA AMBIENTAL, 2002). Na Argentina, Chile e Colômbia elaboram o mesmo conglomerado com o qual são feitas as telhas da Ibaplac que é

utilizado em diferentes aplicações (CONAMA, 2006). Nesse caso é importante mencionar que o Brasil é o país pioneiro no desenvolvimento de diferentes produtos derivados das embalagens de Tetra Pak®, principalmente em coberturas e paredes para residências, vários tipos de móveis para as casas e escritórios, além de ter a primeira usina que separa os três elementos que compõem as caixas acartonadas.

Provavelmente, pode-se perguntar o motivo desta pesquisa que enfoca o estudo do sistema de cobertura construída com a lâmina Ibaplac. É importante mencionar que, atualmente, grandes parcelas da população vivem em condições de reduzida qualidade de vida, pelo fato de não possuírem moradias. A problemática, no entanto, reside no fato de que essas pessoas não contam com recursos econômicos para construir moradias, devido aos custos dos materiais serem muitas vezes, inalcançáveis para famílias que compõem os sectores excluídos (mais pobres) da sociedade. Isso faz com que surja um mercado com uso de materiais alternativos, de baixo custo, onde estes representam um papel determinante para suprir as necessidades da habitação.

Deve-se levar em consideração a facilidade de instalação, influência nas questões econômicas e sociais, pelo fato de que essas telhas podem ser facilmente instaladas pelos próprios construtores dessas moradias.

É importante delimitar a pesquisa e mencionar que esta tem como foco o estudo do comportamento térmico das telhas de reciclagem, material que compõe a cobertura, porque é a superfície da habitação que mais se expõe à radiação solar, por tempo prolongado e, por isso, é a superfície da construção que tem maior absorção de energia. Da mesma maneira, influencia a temperatura interior da habitação, afetando seu conforto térmico e inclusive, pondo em risco a saúde dos moradores. Isso os força a utilização de sistemas de resfriamento, impactando assim de forma negativa na sua economia.

Nessas questões está à importância deste trabalho, que corresponde na verificação do comportamento da telha Ibaplac e sua resposta térmica em relação ao interior da edificação construída com o uso de forro, fabricado com material semelhante, e com o forro de laje cerâmica. Assim, o estudo foi feito a partir de quatro células de teste, construídos com características construtivas semelhantes sendo que a diferença entre elas são os sistemas de cobertura. Duas delas utilizam o sistema de cobertura de telhas Ibaplac, uma com forro de madeira e outra com forro de laje cerâmica. Nas demais foram instalados sistemas de cobertura convencionais como: telha de fibrocimento e telha cerâmica em que os dois casos possuem forros de laje cerâmica. Conjuntamente com as quatro células testes estudou-se um caso, que é o protótipo (kit paliteiro) ocupado, com características construtivas diferentes, utilizando-se a cobertura composta de telhas Ibaplac.

Neste trabalho, foi feita a análise comparativa dos dados obtidos experimentalmente, identificando-se o episódio climático representativo e o dia típico experimental do período quente. Os resultados comparados foram os de temperatura superficial interna medida no forro e a temperatura interna do ar, nos diferentes casos, com relação à radiação solar e a temperatura externa, para verificar o comportamento térmico em situação de excepcional calor do elemento construtivo.

No capítulo dois deste trabalho definiram-se os objetivos gerais e específicos desta pesquisa. No capítulo três abordam-se temas como história, componentes das caixas acartonadas Tetra Pak®, o processo de fabricação das telhas e a revisão bibliográfica das pesquisas feitas deste material.

No capítulo quatro descrevem-se os materiais, os equipamentos e a metodologia adotada para o estudo e a análise do comportamento térmico do sistema de cobertura. No capítulo cinco analisam-se os dados obtidos por meio das medições feitas e são apresentados os resultados obtidos.

Nas conclusões foi feita uma pequena avaliação do trabalho realizado, quais dos objetivos propostos foram alcançados e as vantagens, as aplicações e as limitações do trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral:

1. Analisar o comportamento térmico das telhas de Ibaplac, aplicadas em células de teste, as quais contam com condições construtivas semelhantes, avaliadas por medições experimentais automáticas, tomadas e comparadas, simultaneamente, com quatro sistemas de cobertura convencionais e um protótipo (kit Paliteiro) habitacional ocupado. Este protótipo (kit Paliteiro) possui cobertura de telhas Ibaplac e forro reciclado de plástico, alumínio e papel, que foi utilizado para a comparação do seu comportamento térmico em relação aos sistemas de coberturas convencionais mais utilizadas na cidade de São Carlos, SP, instalados nas células teste.
2. Verificar as tendências de oscilação das curvas dos valores horários das temperaturas que expressam o comportamento térmico das células de teste com a tendência de uma edificação ocupada, tentando constatar, por meio das curvas diárias, se ocorre variações nas oscilações das temperaturas superficiais interiores do forro e nas temperaturas internas do ar dos ambientes monitorados.

2.2 Objetivos específicos:

- Realizar o monitoramento automático das temperaturas superficiais e do ar em quatro células de teste, comparando-os com a do protótipo (kit Paliteiro) (edificação ocupada) durante o período de medição compreendido entre os meses de outono-inverno.
-

- Realizar o monitoramento das temperaturas superficiais dos diferentes elementos construtivos (Ibaplac, Telha Cerâmica, Fibrocimento) e comparar os resultados para determinar o elemento construtivo de melhor comportamento.
 - Realizar o monitoramento das condições climáticas exteriores, da radiação solar global e a temperatura exterior para depois comparar a variação entre as temperaturas interiores e exteriores das células de teste e do protótipo (kit Paliteiro).
 - Analisar e comparar os resultados obtidos no estudo das células teste, para determinar o comportamento das telhas Tetra Pak® em relação às telhas de cerâmica e de fibrocimento.
 - Analisar o comportamento térmico da cobertura no caso específico do protótipo (kit Paliteiro) ocupado.
-

3. AS TELHAS DA RECICLAGEM DE CAIXAS ACARTONADAS

Antes da revolução industrial, os materiais construtivos utilizados eram provenientes do próprio meio natural circundante, o que não provocava impacto significativo ao meio ambiente. A partir da revolução industrial, no entanto, diferentes materiais e sistemas construtivos foram sendo desenvolvidos, os quais vêm causando impactos durante o seu processo de elaboração. O desenvolvimento tecnológico e industrial ocorre de maneira tão rápida, e vão sendo criados tantos novos produtos e também novos desejos de consumo, que a capacidade de suporte do planeta pode ser ultrapassada, uma vez que ela já não é a mesma de séculos anteriores e a dúvida agora é quanto tempo passará até que se chegue ao caos total e se ponha em risco a nossa própria existência (MÉSZÁRINOS, 2002).

Na atualidade o uso inadequado dos recursos naturais causa diversos impactos que podem ser observados nos meios sociais econômicos e políticos, a nível mundial (SOBRAL, 1997). Essa é a grande importância do estudo, da criação e a fabricação de materiais alternativos para a construção, promovendo a viabilidade de sua utilização. É interessante que estes materiais sejam analisados, desde o ponto de vista do desenvolvimento sustentável enfocando-se os seus diferentes aspectos: econômico, social e ecológico. Este tipo de análise deve ser feito a partir de uma perspectiva integral, englobando todos os aspectos, de forma a alcançar a sustentabilidade em todas as suas dimensões.

Segundo estudos realizados nos Estados Unidos, a construção civil é o setor responsável pelo maior consumo de combustíveis fósseis e de recursos naturais (ARCHITECTURE 2030, 2006). Isto reforça a importância que têm a investigação, da criação e a viabilização de diferentes alternativas para a construção que sejam de baixo impacto para o meio ambiente. Estas alternativas devem visar não gerar resíduos tóxicos em seu processo de fabricação, assim como não causar nenhum tipo de impacto (seja cultural, social,

ambiental, etc.) no decorrer de sua vida útil, e também que ao final desse período possa ser reutilizado. Nesse sentido é importante estudar a cadeia produtiva dos materiais e ver todos os agentes participantes, desde a coleta da matéria prima e o processo de fabricação, passando pela quantidade de recursos utilizados até o momento de sua chegada ao mercado.

No Brasil existem duas formas de reutilização dos resíduos sólidos de Tetra Pak®. A primeira é por meio de usinas que separam todos os elementos que compõem as embalagens por um processo de plasma, em que o plástico é acumulado e vendido em forma de parafina, o alumínio é acumulado em lingotes e o papel é vendido às indústrias papeleiras. A outra forma é separando as fibras de papel dos resíduos de plástico e alumínio, que são utilizados para a fabricação das placas e telhas. A vantagem da reutilização destes resíduos sólidos de Tetra Pak®, é que representa a utilização e revalorização de uma matéria prima que é um resíduo sólido.

No caso do produto aglomerado com que são feitas as placas e telhas, esta é uma alternativa viável para a construção (PEREZ, 2005). No entanto, ainda que seja fabricado e comercializado em diferentes países de América Latina, Europa e Ásia, são poucas as pessoas que o conhecem.

Na continuação descreve-se o mais claramente possível o processo de fabricação e os agentes participantes, e sua aplicação à construção.

3.1. Dimensões da Sustentabilidade

3.1.1. O que é Desenvolvimento Sustentável?

“O desenvolvimento sustentável é o processo que requer um progresso simultâneo global nas dimensões: humana, econômica, ambiental e tecnológica.” (UNEP-IETC, 2002) Isto quer dizer que deve existir uma estreita relação entre estas quatro dimensões. Na dimensão humana busca-se o progresso até a obtenção de populações mais estáveis e na

ambiental devem-se proteger os recursos naturais e utilizá-los racionalmente para satisfazer as necessidades atuais e futuras.

O conceito de desenvolvimento sustentável explicita a íntima, inevitável e mútua interdependência entre sistema natural e desenvolvimento (EUROSUR, 2002).

A definição é a seguinte: “O desenvolvimento sustentável é uma forma de desenvolvimento que gerencia todos os recursos protegendo o meio-ambiente, a fim de assegurar uma melhor qualidade de vida às futuras gerações” (UNEP-IETC, 2002).

Pode-se dizer que o desenvolvimento sustentável engloba três principais enfoques: o econômico, o ambiental, o social (Figuras 1 e 2).

Figura 1. Enfoques principais do desenvolvimento sustentável.

Nos países em desenvolvimento, tanto quanto nos países desenvolvidos, vários fatores contribuem para o surgimento e agravamento dos problemas ambientais, tais como: desflorestamento, erosão e desertificação de solos, exploração e uso de bosques, deterioração de recursos marinhos e costeiros, perda de ecossistemas, qualidade de vida nos assentamentos humanos e migração rural (WINOGRAD, 1995).

Neste cenário criado pela ação humana, o mundo contemporâneo é desnudado e suas intenções de domínio da natureza, ecologia, eco-desenvolvimento, desenvolvimento sustentável, economia ecológica, etc. mostram-se como sendo mais do que um movimento de modismos intelectuais. Expressam a crescente preocupação dos diversos segmentos sociais

com a constatação de que a organização social que emergiu desde a revolução industrial, está colocando em cheque a sobrevivência da espécie humana.

“A discussão sobre os materiais de construção pode contribuir mais do que o faz atualmente para a sustentabilidade. Ser ou não ambientalmente correto não é o único aspecto a ser analisado, já que a sustentabilidade não é determinada somente pelo tipo de produto. Se o foco sobre as questões ambientais for ampliado para uma discussão pluridimensional, muitas outras questões pertinentes poderão também ser mais bem trabalhadas. Isso agrega o desafio de complexidade além das que são atualmente enfrentadas pelos sistemas de avaliação de sustentabilidade existentes (YUBA 2004)”.

Por fim, a sustentabilidade, de acordo com a Agenda 21 da Construção Sustentável para países em desenvolvimento (países com PIB per capita menor que US\$ 7.000 dólares), seria a condição ou estado que permitiria a existência do homem, provido de segurança, saúde e vida produtiva para todas as gerações em harmonia com a natureza e com os valores culturais e espirituais locais. A sustentabilidade é entendida como um ponto de equilíbrio e o desenvolvimento sustentável então, o caminho para o seu alcance.

3.1.1.1. Enfoque Econômico

O enfoque econômico fala que é preciso o desenvolvimento de um sistema econômico que facilite o acesso aos recursos e às oportunidades equitativamente, compartilhando justamente o espaço produtivo ecológico finito, que permite ingressos sustentáveis, adotando negócios viáveis e industriais baseadas em princípios éticos. O enfoque procura criar prosperidade para todos, e não só benefícios para poucos, e fazer isto dentro dos limites ecológicos possíveis (UNEP-IETC, 2002, pág. 6).

Neste enfoque tenta-se promover a distribuição equitativa dos recursos naturais, procurando o aproveitamento de um jeito justo destes recursos ecológicos, melhorando a qualidade de vida de todas as pessoas e tentando restituir esses recursos depois do bem-estar econômico, resguardando assim às gerações futuras.

Figura 2. Interação entre os principais aspectos do desenvolvimento sustentável.

3.1.1.2. Enfoque Social

Os aspectos sociais do desenvolvimento sustentável requerem que se permita o desenvolvimento das sociedades justas que fomentem o desenvolvimento humano positivo e que abastecem as pessoas de oportunidades para a auto-atualização e uma aceitável qualidade de vida (UNEP-IETC, 2002, pág. 7).

Com o enfoque social no desenvolvimento sustentável pretende-se obter uma integração entre os setores sociais. Isto se refere às responsabilidades dos grupos favorecidos com os grupos menos favorecidos e as minorias, cuja situação deriva em grande parte dos processos demográficos e econômicos presentes.

Outro ponto importante deste enfoque é o de conscientizar à sociedade dos problemas que está causando no meio ambiente, a grande exploração dos recursos naturais, já que tendo uma sociedade consciente, ela mesma se encarregará de cuidar destes recursos, assegurando-os, técnica e legalmente para as gerações futuras.

Assim, temas como poluição, biodiversidade, exploração de recursos naturais renováveis e não-renováveis e efeitos climáticos complexos devem ser relacionados ao desemprego, à pobreza e à riqueza, às inovações tecnológicas, aos valores culturais, à organização política e à organização social. Ou seja, as dimensões do social e do natural estão

relacionadas, de tal forma, que o modo de apreensão desses eventos é de fundamental importância, isto é, a percepção do observador enquanto criador/produtor, processo e criatura/produto.

Dependendo do contexto, outras dimensões também podem ser agregadas (político, cultural, ética, tecnológica, estética, entre outras).

3.1.1.3. Enfoque Ecológico

O enfoque ecológico do desenvolvimento sustentável requer encontrar o equilíbrio entre a proteção do ambiente físico e de seus recursos, e usar estes recursos de forma na qual a terra possa continuar proporcionando uma boa qualidade de vida para os seres humanos (UNEP-IETC, 2002, págs. 7 Traduções nossa).

Neste enfoque tenta-se resguardar as condições ecológicas para manter a vida humana das futuras gerações. Um dos problemas deste enfoque é que não se considera as dimensões sociais, políticas, e econômicas, e, além disso, de que supõe uma igualdade de situações em nível mundial, desvinculando-se do aspecto de distribuição eqüitativa de riquezas, proventos, conhecimentos, etc. Neste enfoque se distinguem ao menos dois pontos de vista importantes. Um deles enfatiza os limites ecológicos em um planeta finito. O outro ressalta a solidariedade com as gerações futuras e, portanto, a necessidade de preservar os recursos naturais e ambientais de modo que estas gerações disponham de um máximo de opções para maximizar seu bem estar.

3.1.2. Reciclagem

A natureza se organiza em ciclos de reciclagem biogeoquímicos que provêm a sua sustentabilidade. Contudo, a produção crescente de resíduos de origem antrópica coloca em risco a reprodução destes ciclos. Daí a reciclagem surge como uma das respostas à continuidade desses ciclos, evitando as interferências negativas provocadas pela ação humana.

“Diferentemente das leis de regulação que regem a biologia ou a ecologia, nossas sociedades industriais funcionam em "circuitos abertos", sem macro regulações. As cadeias de produção e consumo são seqüências, dando origem a detritos que se acumulam no meio ambiente. A pressão ecológica no decorrer dos últimos anos impôs progressivamente o princípio da reciclagem (fechamento de circuitos). Embora este esteja se generalizando, por enquanto só é aplicado por um número limitado de setores industriais (ROSNAY, 1997)”.

Não se pode prender a atenção apenas na reciclagem pontual de alguns exemplos isolados, mas, sim, ampliar-se esta prática à dimensão social. Esta não é uma tarefa fácil de ser realizada, embora urgente, já que a atual sociedade se pauta pela crença em um crescimento ilimitado e caótico, provocando o esgotamento dos recursos naturais do planeta e o aumento vertiginoso do consumo energético. Logo, a pertinência da reciclagem como prática necessária pode ser enunciada como: a construção de uma sociedade sustentável relacionada à reciclagem constante de seus resíduos, com vias à reciclagem total por meio da operacionalização do conceito de desenvolvimento sustentável.

3.2. As caixas Tetra Pak®

O nome da empresa está relacionado ao seu produto principal, ou seja, as embalagens acartonadas de Tetra Pak®. Cada embalagem tem seu nome próprio, de acordo com a sua forma. Entretanto, a maioria das pessoas reconhece esses diversos produtos como o nome da própria empresa (TETRA PAK®, 2002). Veja a figura 3.

Figura 3. Nesta imagem observam-se diferentes produtos produzidos pela empresa Tetra Pak®. Fonte: Redacción Ambientum (2003).

3.2.1. História

O primeiro produto que a empresa sueca Tetra Pak® lançou foi elaborado a partir de um revolucionário tipo de papelão usado para guardar leite, cujo nome era Tetra Classic. O criador deste produto o aperfeiçoou em 1950, fabricando caixas de papelão hermeticamente fechadas, utilizando um sistema de papelão forrado com plástico. As caixas iniciais eram tetraedros. Em 1963 a empresa introduziu o Tetra Brik, uma embalagem retangular (TETRA PAK®, 2002).

O filho do criador das embalagens Tetra Pak®, Hans Rausing, trabalhou na empresa, transformando-a em uma das mais importantes corporações suecas do mundo (TETRA PAK®, 2002). O aglomerado de Tetra Pak® surge como um material que é o produto da reciclagem das caixas de Tetra Pak® e, atualmente, existem dois tipos de reciclagem para esse material. Um deles é a separação dos três materiais por meio do plasma, realizada na fábrica localizada em Piracicaba - SP, e o outro consiste na retirada do papel das caixas por meio de um hidrapulper processo realizado em uma indústria papeleira chamada Klabin. O alumínio e plástico restantes nesse processo são utilizados para a fabricação, por meio de prensas quentes, das telhas Ibaplac.

3.2.2. Composição

As caixas de Tetra Pak® são elaboradas a partir de três componentes, 75% de papel, 20% de plástico e 5% de alumínio (SCHMUTZLER, 2001), veja Figura 4.

Figura 4. Relação dos diferentes elementos que compõem as caixas de Tetra Pak®. Fonte: Zuben (2004).

3.2.3. Reaproveitamento

Existem duas maneiras de reaproveitamento de Tetra Pak®. Uma das formas de reaproveitamento é por meio de fábricas que utilizam plasma para dividir os três componentes que constituem a caixa. O sistema usa energia elétrica para produzir um jato de plasma a 15.000°C para aquecer a mistura de plástico e alumínio. Com o processo, o plástico é transformado em parafina e o alumínio, totalmente recuperado em forma de lingotes de alta pureza e o papel é vendido a empresas de papel (ORELLANA, 2005).

O segundo método de reaproveitamento é a retirada do papel das caixas por meio de um hidrapupler da fábrica pepeleira Klabin. O papel é usado para outra reciclagem, e o alumínio e o plástico vão a uma prensa quente onde com o calor o plástico se derrete, funcionando como uma cola grudando-se assim com o alumínio, e o material resultante tem diversas aplicações, como (Figura 5):

- Telhas Ibaplac;
- Forro;
- Móveis Urbanos;
- Móveis para o lar;
- Móveis de escritório;
- Tábuas para usos diversos.

Figura 5. Nas fotos se observa a aplicação do alumínio e plástico reciclado para a fabricação de cadeiras e sua aplicação em paredes e telhas. Fonte: (Tetra Pak®, 2003).

Na Tabela 1 estão dispostas algumas características do aglomerado de Tetra Pak®.

Tabela 1. Características de Aglomerado de Tetra Pak® (INCHE J. M. et.al., 2003)

<i>Teste</i>	<i>Resultado</i>
Densidade	800-900 kg/m ³
Módulo de Ruptura (N/mm ²)	14,95
Módulo de elasticidade: (N/mm ²)	1 050
Absorção de água em 24 horas:	< 1,0 %
Inchamento de água em 24 horas:	< 0,8 %
Comportamento frente à ambiente marinho:	Sem deterioração
Estabilidade dimensional frente a mudanças de umidade (longitude):	< 0,5 %
Resistência química (detergente, hipoclorito de sódio, HCl):	Muito boa
Estabilidade longitudinal frente a mudanças de temperatura, 24 horas a 70°C:	0,05 %
Comportamento frente a ataque biológico:	Sem deterioração
Resistência ao arranque de parafuso:	< 1,625 N
Resistência a impacto:	Muito boa
Mecanizado: cortar, pregar:	Muito boa
Fonte: Ensayos Físicos realizados en la Facultad de Ingeniería Industrial. UNMSM Testes técnicos realizados de acordo com NTC 2261 (Inche Jorge M. et.al., 2003)	

3.3. A reciclagem das caixas acartonadas no Brasil e em outros países

O Brasil é um dos países pioneiros no desenvolvimento de tecnologias para a reciclagem das caixas acartonadas Tetra Pak®, assim como na fabricação de materiais construtivos compostos pelo aglomerado resultante do resíduo sólido como, por exemplo, as telhas da Ibaplac (APOIO FOME ZERO 2005).

Atualmente, a reciclagem do alumínio e plástico que compõem as telhas é produzida em diversos países da América Latina. O Chile é um dos países que lançou uma campanha denominada “Un Techo Para Chile”, onde são fabricadas telhas aplicadas a sistemas de cobertura utilizados em moradias (PRIETO, 2006). Na Argentina, também é utilizado, onde é chamado de T-Plak, e começaram a utilizá-lo como material construtivo, sendo aplicado a moradias e, principalmente, como barreira radiativa (CAPRIA, 2006).

Outro exemplo, na Espanha é utilizado para fabricar o mobiliário urbano, assim como habitações. Foi aprovado com êxito para ser utilizado como material de construção na análise conjunta realizada pelo Comitê Estatal para a Ciência e Tecnologia, o Escritório Estatal de Materiais de Construção e a Agência Estatal de Proteção Ambiental (TETRA PAK, 2003). Na Turquia, o composto resultante da reciclagem do alumínio e plástico é denominado de Yekpan. Na China ele é fabricado com o nome de Chiptek (TETRA PAK, 2003).

Na África do Sul são fabricadas chapas que são utilizadas para a fabricação de móveis (cadeiras, mesas etc.) e também de telhas com as caixas acartonadas pós-consumo, (TETRA PAK, 2007).

3.3.1. A Matéria-Prima

A principal matéria-prima para a fabricação das telhas e das placas é a caixa acartonada da empresa multinacional Tetra Pak®. Estas caixas estão compostas por três elementos: 75% de papelão, 20% de polietileno e 5 % de alumínio (SCHMUTZLER, 2001). Os componentes utilizados na composição de telhas e placas variam segundo cada indústria sendo que as informações utilizadas neste trabalho se referem à empresa “Ibaplac”, localizada na cidade de Ibaté, São Paulo, Brasil.

Na Ibaplac existem vários tipos de matéria-prima, sendo que a principal são os resíduos de embalagens de Tetra Pak®, que já tiveram retirado o papel de sua composição na empresa

papeleira Klabin. Além destas embalagens são também utilizados resíduos industriais de polietileno, resíduos industriais de embalagens de dentríficos, resíduos de plásticos de embalagens de cerveja, entre outros. No total esta fábrica utiliza como matéria-prima cerca de 150 toneladas de resíduos por mês. Estes resíduos se não fossem reutilizados por esta empresa seriam depositados em aterros sanitários.

O retorno da matéria-prima ao ciclo de produção é considerado uma forma de reciclagem, embora o termo seja utilizado, popularmente, para designar o conjunto de operações envolvidas. As indústrias recicladoras são denominadas secundárias, por processarem matéria-prima de recuperação. Na maior parte dos processos, o produto final reciclado é completamente diferente do produto inicial.

3.3.2. Origem da Matéria-Prima

De acordo com informações divulgadas pela Tetra Pak® Brasil (TETRA PAK, 2003), a coleta da matéria-prima é realizada por meio de coleta seletiva (Figura 6). A coleta seletiva é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros, metais e orgânicos, previamente separados na fonte geradora. As quatro principais modalidades de coleta seletiva são: domiciliar, em postos de entrega voluntária, em postos de troca e por catadores. A coleta seletiva domiciliar assemelha-se ao procedimento clássico de coleta normal de lixo. Porém, os veículos coletores percorrem as residências em dias e horários específicos que não coincidam com a coleta normal.

A coleta em PEV - Postos de Entrega Voluntária ou em LEV - Locais de Entrega Voluntária se utiliza, normalmente, de contêineres ou de pequenos depósitos, colocados em pontos fixos, onde o cidadão, espontaneamente, deposita os recicláveis. A modalidade de coleta seletiva, em postos de troca, se baseia na troca do material entregue por algum bem ou benefício.

O sucesso da coleta seletiva está diretamente associado aos investimentos feitos para a sensibilização e a conscientização da população. Normalmente, quanto maior a participação voluntária em programas de coleta seletiva, menor é seu custo de administração.

Depois de ser coletado, o material é levado aos centros de separação. Nestes centros os materiais são separados e depois prensados para que sejam posteriormente vendidos e reciclados como se observa na Figura 6 (ZUBEN, 2004).

Figura 6. Em A, se observa a coleta seletiva realizada na rua e transportada em caminhões. Em B, se vê a coleta seletiva transportada em carretas. Em C, se vê a separação manual do material coletado, e em D se observa a prensagem das embalagens. Fonte: Tetra Pak® (ZUBEN, 2004).

3.3.3. O Processo de Produção da Telha

Os dados apresentados na continuação foram fornecidos pela empresa Ibaplac, localizada na cidade de Ibaté - São Paulo, por meio de um estágio realizado no segundo semestre de 2006 nesta empresa. O estágio foi realizado para ter um melhor conhecimento acerca da proveniência da matéria-prima, bem como as diferentes etapas do processo da fabricação até chegar ao produto final, as telhas acartonadas da Ibaplac.

O fluxograma, Figura 7, apresenta a cadeia produtiva de placas e telhas de embalagens Tetra Pak® recicladas, ilustrando o tipo de energia consumido em cada etapa do processo e, também, os resíduos gerados.

Já o fluxograma da Figura 8 concentra as etapas ocorridas dentro da indústria de fabricação das telhas, descrevendo desde a chegada da matéria-prima à Ibaplac até a saída do

produto final, com indicação dos tipos de energia empregada e as saídas em forma de emissões e resíduos.

Figura 7. Fluxograma da Reciclagem Tetra Pak® até sua utilização na construção. Desenho feito a através das imagens pré-desenhadas do programa Power Point como resultado da informação obtida do estágio realizado na empresa Ibaplac (2006). Fonte: Indústria Ibaplac, novembro de 2006.

Figura 8. Fluxograma da fabricação das Telhas, feito através da informação obtida no estágio realizado na empresa Ibaplac (2006). Fonte: Indústria Ibaplac, novembro de 2006.

3.3.3.1. Etapa de preparação: Separação do papel, alumínio e plástico

As caixas de Tetra Pak®, após a coleta seletiva, são levadas em primeira instância a uma indústria papelreira que é o local onde é realizada a primeira etapa de sua reciclagem.

A reciclagem das fibras e do plástico e do alumínio que compõem a embalagem inicia-se nestas fábricas de papel, em equipamento chamado "hidrapulper", semelhante a um liquidificador gigante (Figura 9), que retira até 98 % das fibras de papel que compõem a embalagem.

Figura 9. Acima, na foto, pacotes prensados de caixas Tetra Pak® ingressados no “Hidrapulper” para a separação do papel. Empresa Klabin, São Paulo, Brasil. Fonte: (ZUBEN, 2004).

Durante a agitação do material com água e sem a adição de produtos químicos, as fibras são hidratadas, separando-se das camadas de plástico e de alumínio. Em seguida, essas fibras são lavadas e purificadas. Podem ser usados para a produção de papel, utilizado na confecção de caixas de papelão, ou na produção de material gráfico, como os folhetos distribuídos pela Tetra Pak®.

O produto restante (alumínio, plástico e algumas fibras de papel) é prensado novamente para ser vendido a empresas que fabricam outros produtos, entre estes, as chapas e telhas.

3.3.3.2. 1ª Etapa: Chegada da matéria prima

Existem vários tipos de matéria-prima utilizados na composição das telhas na indústria Ibaplac. Cada um deles provém de um fornecedor diferente, localizado em lugares, cidades e até estados diferentes.

Na tabela 2 se encontra a descrição dos materiais empregados, a frequência de chegada, a procedência, a quilometragem percorrida e o consumo de diesel por viagem, além do preço pago por tonelada de material transportado na distância especificada. Pode-se perceber que a média de deslocamento da matéria-prima da fonte até a indústria é elevada, superior a 500 km. O maior deslocamento verificado foi o de resíduos de polipropileno, provenientes de uma indústria localizada em Natal – RN. O menor deslocamento é das folhas de alumínio, provenientes da cidade de Alumínio, no interior paulista.

O transporte destes materiais é feito basicamente por dois tipos de caminhão, o truck, com capacidade, para até 14 toneladas, e a carreta, com capacidade para até 25 toneladas. Na Figura 10a, pode-se ver um caminhão Truck no pátio da indústria, durante o recebimento dos resíduos de alumínio e plástico das embalagens Tetra Pak® após a retirada do papel. Nas figuras 10b, 11a e 11b podem-se ver, respectivamente, resíduos de embalagens de creme dental, de embalagens plásticas de cerveja e plástico depositados no pátio da indústria.

Figura 10. Em A, caminhão Truck durante a chegada da matéria prima. Em primeiro plano, as embalagens espalhadas para secagem no pátio da Ibaplac. Em B, resíduos industriais de embalagens de dentrífcos depositados no pátio da Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).

Figura 101. Em A, resíduos de embalagens de cerveja depositados no pátio da Ibaplaç. Em B, resíduos industriais de plástico depositados no pátio da Ibaplaç. Foto: Quiroa (2006).

Tabela 2. Quadro referente ao deslocamento da matéria prima, elaborado de acordo com a informação fornecida durante o estágio feito na empresa Ibaplaç. Fonte: Indústria Ibaplaç, novembro de 2006.

<i>Material</i>	<i>Frequência de chegada</i>	<i>Procedência</i>	<i>Quilometragem percorrida (aprox.)</i>	<i>Tipo de caminhão</i>	<i>Consumo estimado de diesel por viagem (L)</i>	<i>Preço estimado (ton.)</i>
Resíduos de embalagens de Tetra Pak® pós-consumo	Semanal	Sta. Rosa Viterbo-SP	250 km	Carreta e truck	62,5	R\$18,00
		Telêmaco Borba-PR	400 km		100	R\$68,00
		São Paulo-SP	250 km		62,5	R\$40,00
Resíduos industriais de Tetra Pak®	Quinzenal	São Paulo - SP	250 km	Truck	62,5	R\$40,00
Resíduos de polietileno	Semanal	Natal-RN	2970 km	Carreta e truck	742,5	R\$180,00
		São Paulo-SP	250 km		62,5	R\$40,00
Resíduos ind. de embalagens de creme dental	Quinzenal	São Paulo-SP	250 km	Truck	62,5	R\$40,00
Telhas de alumínio	Quinzenal	Alumínio-SP	210 km	Truck	52,5	R\$30,00
Telhas de polipropileno	Quinzenal	Camanducaia-MG	350 km	Truck	87,5	R\$50,00
Resíduos de embalagens plásticas de cerveja	Quinzenal	São Paulo-SP	250 km	Carreta e truck	62,5	R\$40,00

3.3.3.3. 2ª Etapa: Recebimento da matéria prima

Uma vez que os pacotes prensados dos resíduos de embalagens de Tetra Pak®, já sem papel, chegam à indústria Ibaplaç, são depositados no pátio, a céu aberto para a secagem do material. Os fardos são movimentados com o uso de dois tratores, e apenas dois funcionários estão habilitados a pilotá-los, os quais colocam o material no chão.

3.3.3.4. 3ª Etapa: Secagem

Apenas os resíduos de embalagens Tetra Pak®, pós-consumo, provenientes de indústrias papelarias que retiram o papel das embalagens, são submetidos ao processo de secagem. Aproximadamente a cada dois dias, os fardos são retirados das pilhas formadas no pátio e desmanchados, com a ajuda de dois tratores (Figura 12a) e, simultaneamente, dois funcionários munidos de rastelos vão espalhando os resíduos em uma camada uniforme sobre, o solo, para secagem (Figura 12b).

Figura 12. Em A, trator colocando os fardos no chão para secagem Em B, secagem do material já espalhado no pátio da Ibaplaç. Foto: Quiroa (2006).

Após a secagem o material é recolhido pelo trator e levado a um local coberto, próximo das máquinas que fazem a trituração para o início do processo produtivo das telhas e chapas (Figura 13).

Figura 13. Trator transportando resíduos de Tetra Pak do pátio de secagem ao interior da fábrica. (Ibaplac Brasil). Foto: Quiroa (2006).

3.3.3.5. 4ª Etapa: Trituração

Um funcionário utiliza um trator para recolher os resíduos de Tetra Pak® e de polietileno, bem como dos outros plásticos que possam ser utilizados no processo, e coloca próximos das máquinas que fazem a trituração.

Para a trituração dos materiais são utilizadas três máquinas de alimentação manual. A primeira trituradora se destina aos resíduos de Tetra Pak®. Esta possui uma esteira, na qual o funcionário encarregado vai colocando o material a ser triturado (Figura 14).

Figura 14. 1ª Trituradora na qual passa o fardo prensado para começar a reciclagem para a elaboração das telhas, usado na empresa Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).

A segunda trituradora é para o polietileno (Figura 15a) e os demais plásticos utilizados. Esta possui uma espécie de funil onde os plásticos são inseridos depois de serem cortados com a ajuda de uma faca. A terceira máquina trituradora é destinada aos resíduos das

embalagens de dentrífico que também formam parte do composto da telha de reciclagem da Ibaplac (Figura 15b).

Figura 15. Em A, 2ª Trituradora de polietileno, para as telhas, usado na empresa Ibaplac. Em B, 3ª Trituradora que é usada para os resíduos de embalagens de dentrífico. Foto: Quiroa (2006).

3.3.3.6. 5ª Etapa: Peneiração

A peneiração do material acontece totalmente de forma mecânica. Após sair do processo de trituração os resíduos são reunidos em uma peneira, que separa o material de dimensões muito pequenas, que serão descartados. O material que não foi descartado é aspirado e segue por uma tubulação que o conduzirá até o local onde será colocado em depósitos e onde ficará até que seja empregado para a colocação na prancha quente. Na Figura 16a, ao fundo pode-se ver o funil onde começa o processo de peneiração. O total de resíduos gerados por mês é de cerca de 5 toneladas como se observa na Figura 16b, que equivale a 3% do volume total de matéria prima consumida mensalmente.

Figura 16. Em A, vista do funil que succiona os fragmentos e encaminha para peneiração na empresa Ibaplac. Em B, resíduos originados da peneiração depositados no pátio da empresa Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).

3.3.3.7. 6ª Etapa: Formação da manta

Esta é uma etapa totalmente manual. Dois funcionários trabalham, simultaneamente, em cada prensa. Enquanto um deles forma a prancha, o outro já vai ao depósito dos materiais triturados e peneirados, para procurar o material necessário para colocar nas chapas quentes para a prensagem.

O processo é bastante simples, onde se coloca o alumínio e o plástico (das caixas Tetra Pak®), em uma espécie de molde que tem a dimensão exata do colchão de material que deve ser prensado para se obter a espessura desejada da telha (Figura 17a). Um funcionário busca resíduos de embalagens de dentrífico (alumínio e plástico), junto à 3ª trituradora, específica para este material e leva estes resíduos até o local de montagem da telha. Lá, as bordas são reforçadas com a utilização destes resíduos e a prancha é regularizada manualmente (Figura 17b). Os resíduos de embalagens de creme dental possuem uma composição com mais alumínio que as embalagens Tetra Pak®, o que torna as bordas mais resistentes. É colocada uma lâmina de polipropileno sob o molde, e, após a retirada desse molde, é colocada uma lâmina de alumínio sobre a telha, e, sobre esta, outra lâmina de polipropileno para depois ser novamente prensada.

Figura 17. Em A, a imagem mostra a formação manual da manta no molde na Ibaplac e em B, a uniformização manual da manta. Foto: Quiroa (2006).

3.3.3.8. 7ª Etapa: Prensagem

Após a colocação da mistura, o polipropileno e o alumínio, a telha é colocada na prensa quente. Podem ser prensadas até quatro peças simultaneamente (Figura 18a). Na prensagem ocorre o aquecimento do plástico, contido na mistura. Esse plástico se derrete e se gruda aos outros materiais, depois se endurece, e exerce a função de aglutinante para a fabricação das placas.

A temperatura de prensagem é de aproximadamente 170°C. O tempo de prensagem varia de acordo com a espessura da placa que está sendo produzida. Pode-se perceber, na Figura 18b, emissão de vapor durante a prensagem, proveniente da água que existe nos resíduos de papel das embalagens Tetra Pak®.

Figura 18. Em A, a formação de quatro placas que serão prensadas simultaneamente na mesma prensa quente. Em B, a prensagem com emissão de vapor de água existente nas fibras de papel das caixas Tetra Pak®. Foto: Quiroa (2006).

3.3.3.9. 8ª Etapa: Conformação de Placas e Telhas

Imediatamente depois do tempo de prensagem o material é retirado da prensa. Quando é feita a opção pela fabricação de placas, somente espera-se que o material se esfrie. Para produzir telhas, as placas que saem da prensa quente são colocadas em uma bancada ondulada, onde serão conformadas manualmente (Figuras 19a e 19b). São colocados cilindros metálicos sobre elas, a fim de que adquiram a ondulação da bancada necessária para as telhas. Dessa maneira o material se resfria e endurece no formato desejado.

Figura19. Em A, funcionários colocando a chapa aquecida após a etapa de prensagem no molde para a conformação ondulada das telhas. Em B, as telhas acomodadas nos moldes de cilindros metálicos para sua conformação no processo de resfriamento natural. Foto: Quiroa (2006).

3.3.3.10. 9ª Etapa: Modulação e Padronização

Tanto telhas quanto chapas passam pelo processo de corte para padronização das dimensões. A serragem é um processo mecânico com alimentação manual. Isso é feito com a utilização de duas serras circulares, cada uma delas operada por funcionário devidamente equipado com EPI (Figuras 20a e 20b).

Figura 20. Em A, corte realizado para a padronização das dimensões das telhas (Ibaplac Brasil). Em B, as telhas já padronizadas, empilhadas e prontas para transportar aos pontos de venda (Ibaplac Brasil). Foto: Quiroa (2006).

3.3.3.11. 10ª Etapa: Controle de qualidade

O controle de qualidade é feito por uma equipe de funcionários que se reveza com os que trabalham nas prensas e na conformação.

A primeira etapa deste processo é o selamento das bordas (Figura 21a), com a utilização de um ferro quente (ao todo existem sete bancadas com ferros para selamento das bordas que podem ser operadas simultaneamente). Após isso, as telhas são colocadas em uma câmara escura onde por meio de luz verifica se há orifícios nas superfícies das telhas (Figura 21b). Quando existem áreas defeituosas as telhas são vendidas como tapume ou chapas, como material de segunda linha. O último passo do processo é a correção de eventuais arranhões que o alumínio na superfície da telha tenha recebido durante o processo. Para essas correções é feita uma aplicação de tinta spray prata (Figura 21c).

Figura 111. Em A, o selamento de bordas, realizado manualmente com uma prancha quente. Em B, a câmara escura utilizada para verificar a existência de orifícios nas superfícies das telhas e em C, os resíduos das latas de aerossol utilizadas para revestir as imperfeições no controle de qualidade. Foto: Quiroa (2006).

3.3.3.12. Etapa final: Distribuição do produto

Esta última etapa compreende as diversas formas de distribuição do produto. Os principais clientes são construtores e revendedores. No entanto, a indústria também realiza a venda diretamente para os consumidores, em quantidades menores, desde que eles mesmos busquem o produto na fábrica.

3.4. O Produto

O produto que se obtém é um aglomerado vendido no mercado em forma de placas (Figura 22a) e telhas (Figura 22b).

A produção da Ibaplac é, em média, de 460 peças por dia. Destas peças 96% são telhas, e os 4% restantes placas, produzidas somente sob encomenda.

Figura 22. Em A, as placas de aglomerado recém saídas da prancha quente. Em B, as telhas de aglomerado acomodadas prontas para o transporte. Foto: Quiroa (2006).

3.4.1 Características do produto (Ibaplac, 2005)

3.4.1.1. Telhas

Largura útil - 0,86 m
Largura total - 0,92 m
Comprimento - 2,20 m
Espessura - 6 mm
Peso Médio - 14 kg
Inclinação Mínima - 15°
Apoios necessários - 3

3.4.1.2. Placas:

Largura total: 1,10 m
Comprimento: 2,20 m
Espessuras: 6, 9, 12, 15, 18 e 21 mm (produzidas sob encomenda)

3.5. Aplicações

Os produtos de reciclagem fabricados podem ter diversas aplicações no âmbito da construção. As placas podem ser utilizadas de diferentes formas como, por exemplo, para a fabricação de móveis, portas, paredes divisórias, entre outras. As telhas podem ser usadas simultaneamente como forro do mesmo material, como sistema de cobertura de baixo custo e de baixo impacto ambiental durante sua fabricação e durante o seu tempo de vida útil. Em diversos países onde as placas são produzidas pode-se encontrá-las com diferentes espessuras,

de acordo com as necessidades do consumidor. Ao final de sua vida útil as telhas podem voltar à fábrica e passar novamente por o processo de reciclagem para a fabricação de novas telhas, o que representa um ciclo produtivo permanente.

Um protótipo (kit Paliteiro) habitacional (que é utilizado como laboratório) tem este tipo de cobertura com forro (feito com placas de embalagens Tetra Pak® recicladas) e é localizado na Universidade de São Paulo, Campus São Carlos. Neste protótipo (kit Paliteiro) foram realizadas medições utilizadas no estudo sobre o comportamento térmico da cobertura (Figura 23a e 23b).

Figura 23. Em A, vista oeste do Protótipo (kit Paliteiro) da USP, São Carlos. Em B, detalhe da face do forro Ibaplac. Foto: Quiroa (2006).

Cabe mencionar que as telhas e as peças, para o forro, têm uma face revestida com papel alumínio, para melhorar seu comportamento térmico no calor, através da reflexão da radiação incidente na superfície (Figura 24).

Figura24. Detalhe da face do forro revestida com papel alumínio. Foto: Quiroa (2006).

3.6. Caracterizações das dimensões de sustentabilidade das chapas e telhas de Tetra Pak®, vantagens e desvantagens

As vantagens que podem ser mencionadas na fabricação, comercialização e utilização deste produto se destacam nos seguintes aspectos:

- Social: gera empregos desde o momento da coleta do material, da separação, do transporte, de sua fabricação e também é de fácil instalação (no caso específico das telhas e do forro).
- Ecológico: é um produto fabricado com a utilização de resíduos sólidos, o que significa que retira resíduos que poderiam estar nos depósitos de lixo. A reciclagem destes resíduos aproveita cerca de 97% do material que recolhe e não gera contaminação da terra ou da água causando baixa emissão de gases tóxicos provocados pelas máquinas que movimentam a matéria prima. A água utilizada para separar o papel dos resíduos de plástico e alumínio é facilmente tratada. Depois de seu tempo de vida útil, o material pode voltar a ser reciclado, sendo este uma característica muito importante nesta cadeia, pois contribui para que este se apresente como material de baixo impacto ambiental. Deve-se

mentonar também que durante o processo de elaboração das placas e telhas não se utilizam, nem se geram resíduos tóxicos.

- Econômico: neste aspecto, o impacto positivo que apresenta se deve à revalorização de um material que seria descartado, gerando empregos em seu processo de produção. Além disso, é um material de preço acessível o que facilita a sua aquisição.

As desvantagens que podem ser mencionadas são:

- Algumas matérias primas são transportadas de lugares distantes, o que significa uso de maior quantidade de combustível para transporte e também de emissões de gás CO₂.
- De acordo com informações obtidas na empresa Ibaplac, da matéria prima empregada, de 2,5% a 3 % se convertem em resíduos sólidos, e não podem ser reutilizados no processo, então esta pequena quantidade de resíduos vai aos aterros sanitários.
- Especificamente na fábrica Ibaplac se precisa de uma maior otimização dos processos de fabricação das telhas para obter um incremento da produtividade com um menor gasto de tempo e energia.

3.7. Vantagens da utilização de materiais recicláveis como matéria-prima

A utilização de matérias-primas provenientes de reciclagem agrega os seguintes benefícios:

- Contribui para diminuir a poluição do solo, água e ar;
- Melhora a limpeza da cidade;
- Prolonga a vida útil de aterros sanitários;
- Gera receita com a comercialização dos recicláveis;

- Estimula a concorrência, de produtos gerados a partir dos reciclados;
- Contribui para a valorização da limpeza pública e para formar uma consciência ecológica.

No Brasil, seria importante que pequenas e médias empresas recicladoras tivessem apoio financeiro e tecnológico para melhorar suas tecnologias de reciclagem, pois assim estariam contribuindo na geração de empregos, na diminuição de lixo e na produção de materiais de melhor qualidade utilizando-se tecnologia "limpa".

A melhor solução para a utilização de resíduos sólidos é aquela que prevê a máxima redução da quantidade de resíduos na fonte geradora. Quando os resíduos não podem ser evitados, deverão ser reciclados por reutilização ou recuperação, de tal modo que seja destinada a aterros sanitários uma quantidade mínima possível.

A reciclagem surgiu como uma maneira de reintroduzir no sistema produtivo parte da matéria prima, que se tornaria lixo. Assim desviados, os resíduos são coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, os quais eram produzidos anteriormente com matéria prima “virgem”. Dessa forma, os recursos naturais ficam menos comprometidos.

A reciclagem como fonte de obtenção de matéria prima pode ajudar a minimizar diversos problemas ambientais:

- Poluição da água: A água é contaminada por elementos químicos despejados pelas fábricas, óleos lubrificantes usados, tinta despejada pelos consumidores, líquidos tóxicos em aterros que se misturam à água da chuva e outros. Reciclar significa menos líquido tóxico e dejetos industriais para poluir a água. Na reciclagem de uma tonelada de papel economiza-se mais de 30 mil litros de água e usam-se menos dioxinas na água para o branqueamento;

- Destruição da Camada de Ozônio: Esta camada protege dos efeitos danosos dos raios ultravioletas do sol e está sendo destruída por gases chamados clorofluorcarbonos (CFCs ou HCFCs) que ameaçam a saúde humana, as colheitas e a fauna. São usados também como solventes industriais. Os maiores emissores são os aparelhos de condicionamento de ar e os refrigeradores. Por meio da reciclagem pode-se impedir que os CFCs escapem para a atmosfera, pois para processar matéria-prima virgem, utilizam-se mais solventes do que com os materiais reciclados.
- Erosão do Solo: Para evitar a degradação do solo pela erosão é necessário reaproveitar os produtos de papel, pois através da reciclagem, pode-se reduzir o número de árvores cortadas e, minimizar os impactos causados pela redução da cobertura vegetal;
- Chuva ácida: é causada pelos gases de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, associados às gotas de umidade da atmosfera. Estes gases são eliminados pelos automóveis, fábricas e usinas de energia durante a queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural). Através da reciclagem pode-se reduzir a queima de combustíveis fósseis, minimizando, assim, a emissão destes gases.

De acordo com um estudo realizado no Peru, o produto final é um aglomerado com vários atributos positivos (Tabela 3) e indicam que as placas e telhas fabricadas através da reciclagem de resíduos de embalagens Tetra Pak® é um material viável, econômico, ecológico e social no âmbito da construção (Inche Jorge M. et.al., 2003).

Tabela 3. Atributos das placas e telhas fabricadas com resíduos de embalagens de Tetra Pak®. Fonte: (INCHE J. M. et.al., 2003)

<i>Atributos deste Produto</i>
<ul style="list-style-type: none">• Permite uma construção duradora.• Longa vida do produto.• Reciclável 100%.• Sem produtos tóxicos e perigosos.• Pode ser cortado, mecanizado, pregado e colado.• Não gera lascas nem fendas.• Não conduz eletricidade, é um material isolante acústico e elétrico.• Insensível a putrefação como de insetos e fungos.

Destaca-se a importância dessa análise da cadeia produtiva do material porque a aplicação na realidade se torna mais complexa quando se considera que as pesquisas têm uma visão compartimentada da realidade do setor e que não há colaborações entre pesquisas ou diretrizes para o desenvolvimento de pesquisas sobre a cadeia produtiva (YUBA, 2004). Grande parte das pesquisas sobre sustentabilidade fala apenas de duas dimensões: a ambiental e a econômica, sendo que a segunda aborda apenas o aspecto de custo.

Tanto por ser um produto composto de resíduos sólidos, quanto por ter geração de resíduos pequena e não utilizar materiais contaminantes ou tóxicos em seu processo de produção é viável do ponto de vista de sustentabilidade. É um material com benefícios sociais, pois há geração de 27 empregos diretos e cerca de 20 indiretos. Além disso, como grande parte da matéria-prima pode ser proveniente de resíduos, sejam industriais ou pós-consumo, o preço das telhas e placas é menor em relação à telha de fibrocimento e telha cerâmica.

As telhas e placas provenientes deste processo de fabricação reúnem, portanto, um conjunto de atributos que as colocam em contato direto com os conceitos de sustentabilidade em seus vários aspectos, apresentando vantagens já relacionadas como geração de empregos,

reciclagem de um material que seria depositado em aterros sanitários, economia de energia por meio da utilização destes materiais como matéria-prima, entre outras. Diversos aspectos de sua produção ainda podem ser melhorados, mas, mesmo sendo realizado desta maneira, proporciona grande quantidade de benefícios.

3.8. Clima e Tempo

É importante compreender os conceitos básicos de clima e tempo.

Clima de uma localidade constitui o estado médio e o comportamento estatístico da variabilidade dos parâmetros do tempo (temperatura, chuva, vento, etc.) sobre um período suficientemente longo. O período recomendado é de 30 anos (CPTEC/INPE, a, 2008).

Tempo é o conjunto de condições atmosféricas e fenômenos meteorológicos que afetam a biosfera e a superfície terrestre em um dado momento e em um dado local. A temperatura, chuva, vento, umidade, nevoeiro, nebulosidade, etc. formam o conjunto de parâmetros do tempo (CPTEC/INPE, a, 2008).

O clima está dividido em escalas climáticas, tais como:

- Macroclima, ou clima regional, que corresponde ao clima médio que ocorre em um território relativamente vasto, exigindo, para sua caracterização, dados de um conjunto de postos meteorológicos.
- Mesoclima, ou clima local, que corresponde a uma situação particular do macroclima. Normalmente é possível caracterizar um mesoclima através dos dados de uma estação meteorológica.
- Microclima, que corresponde às condições climáticas de uma superfície realmente pequena.

Além destes deve-se considerar os elementos meteorológicos do clima que são: temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade do vento, radiação solar global, nebulosidade e precipitação global (GIVONI, 1976).

De acordo com a localização geográfica do objeto de estudo, diferentes fenômenos atmosféricos podem interferir provocados pelas massas de ar atuantes na região, classificadas como:

MT: Massa Tropical

MP: Massa Polar

ME: Massa Equatorial

O estudo das massas e seu comportamento anteriormente mencionado têm aplicação direta no ambiente construído e no planejamento dos espaços exteriores e interiores (VECCHIA 2005). Existem diferentes condicionantes climáticas que interferem em uma edificação. O interior de um prédio tem uma temperatura de ar interna, de maneira passiva, que é resultado da incidência da radiação térmica, da temperatura, velocidade e umidade do ar (GIVONI 1976).

Estas variações de temperatura, a radiação solar e a velocidade e umidade do ar estão condicionadas pela massa de ar dominante no local onde se encontra o objeto de estudo, ou seja, em escala mesoclimática. Além disso, também são influenciadas por fatores modificadores como: altitude, longitude e condições fitográficas como: cobertura vegetal, etc.

No livro “Design with Climate” (OLGYAY, 1963) é feita uma análise exemplificada das diferentes condicionantes que incidem sobre o ambiente construído. Olgyay fala sobre interpretação climática, para fazer um projeto adequado ao microclima da região onde é desenvolvido, utilizando os princípios arquitetônicos tais como: espaçamento, orientação, controle solar, entorno, efeitos do vento, efeitos térmicos dos materiais etc. Além de utilizar diversos gráficos para explicar o tema, é importante levar em consideração também os fatores arquitetônicos, dentro da análise climática de um ambiente construído.

Em outros casos Givoni, (GIVONI, 1998), aborda os problemas do conforto e do desenho climático, e como as características climáticas afetam o clima interno, as propriedades gerais dos materiais, os sistemas de controle de aquecimento solar passivos, os

sistemas de resfriamento dos edifícios, o clima urbano, o desenho urbano e seus efeitos sobre o clima urbano etc.

3.9. Conforto Térmico

Na hora de desenvolver um projeto arquitetônico um dos objetivos é oferecer conforto térmico aos usuários. Conforto térmico é “a condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico” (ASHRAE, 1997); outra definição é “um equilíbrio individual com o meio ambiente”. O tópico de conforto é um dos mais complexos, já que nele influem muitas variáveis, o qual dificulta sua medição (MATHER, 1974).

Existem as bases psicológicas do conforto, e seus fatores abordam diferentes medições como medidas de temperaturas com bulbo seco, bulbo úmido, temperatura do globo estabelecendo valores para seu estudo e trabalhando com escalas de conforto e zonas de conforto com a elaboração de gráficos destas escalas (AULICIEMS; SZOLOKAY, 1997). Também existem temperaturas limites, nas zonas de conforto térmico, para que não haja stress térmico, nem de calor, nem de frio, explicada de forma muito prática por meio de diversos gráficos e diagramas (OLGYAY, 1963).

3.10. Mecanismos de Trocas Térmicas

No livro *Man and Climate* (GIVONI, 1976), aborda os diferentes mecanismos de trocas térmicas e os define da seguinte forma:

- Convecção: o calor é transferido por meio do fluxo das moléculas (líquido ou gás) de um lugar a outro.
- Radiação: é a transferência do calor no espaço por meio de ondas eletromagnéticas.
- Condução: fluxo de calor emitido por um material que é transmitindo das moléculas quentes para as moléculas frias pelo contacto entre os materiais.

- Evaporação (ou condensação): envolve mudanças de estado, como a mudança do estado líquido ao estado gasoso ou vice versa, onde cada processo envolve calor.

Por exemplo, uma parede recebe energia por meio da radiação emitida pelo sol e esta é absorvida pela superfície externa, atravessando o material da parede por meio da condução. Se a parede possui espaços com ar, o fluxo de calor será por meio da convecção e radiação, finalmente transferido ao ar interior por condução e convecção e em outras superfícies internas por radiação.

3.11. Mecanismos de Trocas Térmicas em Telhados e forros

Nos telhados o maior ganho de calor é obtido pela radiação solar incidente nestes. Na Figura 25, se observam os diferentes mecanismos de trocas térmicas do telhado, e na Figura 26 se observam as diferentes trocas térmicas do forro.

Figura25. Ilustram-se os diferentes mecanismos de trocas térmicas da Telha. Fonte: VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003.

Figura26. Ilustram-se os diferentes mecanismos de trocas térmicas do Forro. Fonte: VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003.

Têm sido publicados estudos, nos quais são pesquisadas as características térmicas do produto reciclado de caixas acartonadas Tetra Pak®, seja como lâminas de barreira de radiação ou na forma de telhas prensadas. Um desses casos é o estudo realizado pelo pesquisador Luis Otto Faber Schmutzler da UNICAMP o qual trata da análise do reuso de lâminas (caixas abertas) de Tetra Pak como isolante térmico (SCHMUTZLER, 2001) com o uso combinado de uma cobertura convencional. Também se menciona o aglomerado de Tetra Pak® como um material de boas características térmicas (ECODELTA, 1997).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos adotados para cumprir os objetivos propostos neste trabalho.

Foi realizada uma caracterização geral das células de teste e do protótipo (kit Paliteiro) utilizado, descrevendo-se as características técnicas dos elementos construtivos (sistemas de coberturas) em estudo. São descritos os equipamentos utilizados para o monitoramento das condições climáticas e das temperaturas superficiais e do ar de cada célula de teste e do protótipo (kit Paliteiro). A metodologia utilizada é a proposta na dissertação *Clima e Ambiente Construído: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*.(VECCHIA, 1997).

4.1. Definição dos Materiais: as Telhas

As caixas Tetra Pak®, permitem a reutilização na forma de produto reciclado e foram escolhidas para esta investigação pelo seu caráter sustentável e optou-se por analisá-lo como elemento construtivo aplicado as células de teste e a uma edificação ocupada.

O produto (telhas recicladas da Ibaplac) foi analisado como material de construção aplicado a coberturas, ou seja, em forma de telhas onduladas com as dimensões de 1,20 m x 2,80 m, com 150 mm de espessura e peso de 15 kg (Figura 27).

Figura 27. Em A, observa-se uma telha no chão. Na Figura B, observa-se o corte transversal da telha e em C, observa-se a cobertura de alumínio da telha. Foto: Quiroa (2006).

Dessa forma, utilizando as células de teste e da edificação ocupada, foram analisadas as variações das temperaturas internas, superficiais e do ar, por meio de medições automáticas de aquisição de dados. Ressalte-se também, que a transição das estações verão-outono foi escolhida por sua característica de altas temperaturas, e alguns dias de mínima nebulosidade, oferecendo assim maior exposição à radiação solar. Portanto buscou-se estudar a sua reação frente ao calor, tentando verificar a ação da incidência da radiação solar sobre os sistemas de cobertura.

4.2. Instalações dos materiais e equipamentos

Nesta seção são descritos os diversos materiais e os equipamentos utilizados na avaliação do comportamento térmico, realizado de maneira experimental e comparativa, dos

distintos sistemas de cobertura instalando equipamentos para as medições automáticas (Figura 28a e 28b), de forma a alcançar os objetivos da pesquisa.

Para a análise dos diferentes sistemas de cobertura foram realizadas medições de temperaturas com termopares tipo “T”, em células de teste existentes na Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

As telhas da Ibaplac foram fornecidas pelo fabricante. As telhas de fibrocimento e as telhas cerâmicas foram reutilizadas de experimentos anteriormente, assim como as células de teste. O protótipo (kit Paliteiro) de habitação formou parte dos estudos de Subprojeto XIV. 3, XIV.5 e XIV.8 do Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo (CYTED).

Figura 28. Em A, instalação das telhas Ibaplac® nas células de teste localizadas no canteiro experimental do CRHEA. Em B, instalação do equipamento de aquisição de dados dentro da célula de teste. Foto: Quiroa (2006).

4.3. Caracterização da Área de Estudo

São Carlos, se localiza na região tropical ou intertropical, do hemisfério sul, entre as latitudes $21^{\circ} 55'$ e $22^{\circ} 00'$ Sul e longitudes $47^{\circ} 48'$ e $47^{\circ} 52'$ Oeste, tem uma altitude de 855 metros sobre o nível do mar, e o clima é predominantemente tropical (EMBRAPA, 2008), O clima é considerado como tropical de altura (EMBRAPA, 2008), e segundo a classificação de Koeppen e o Cwa, clima quente com inverno seco (KOTTEK M., et al, 2006).

O experimento foi realizado em dois locais. Um deles, onde se localizam as células experimentais, é o Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), da Universidade de São Paulo / Campus São Carlos (Figuras 29,30). O outro local foi no Campus 1 da Universidade de São Paulo, São Carlos, localizado na Rua Trabalhador São Carlense, nº 400 (Figura 31).

Figura 29. Imagens obtidas na internet, Google Earth 2007. Em A, se observa a localização do Protótipo (kit Paliteiro) dentro do campus I da USP localizado no centro da cidade de São Carlos. Em B, se observa uma vista aérea do protótipo (kit Paliteiro), e em C se observa a localização do CRHEA com relação ao Campus da USP. Fonte: Google Earth 2007.

Algo importante de se mencionar é que no local onde foi realizado o monitoramento do comportamento térmico das células de teste e do protótipo (kit Paliteiro) existem estações de medição automática de dados climáticos que contam com sensores de radiação solar, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento, pluviômetro etc.

Figura 30. Em A, fachada Sul das células testes e em B, células de teste localizadas no canteiro experimental do CRHEA USP São Carlos. Foto: Castañeda (2006).

O protótipo (kit Paliteiro) está localizado no Campus I da USP São Carlos, na Escola de Engenharia de São Carlos (Figura 31). Este protótipo (kit Paliteiro) foi analisado como exemplo de edificação ocupada. Nessa área existe uma estação automática de aquisição de dados para o estudo do comportamento térmico.

Figura 31. Em A, se observa a fachada Oeste do protótipo (kit Paliteiro) e em B, se observa a fachada Norte do protótipo (kit Paliteiro) localizado no Campus I, USP, São Carlos. Foto: Quiroa (2006).

4.4. Características das Células de Teste

Os sistemas construtivos de cada célula de teste seguiram as normas de instalação e recomendações técnicas fornecidas pelos fabricantes por meio de catálogos técnicos. As

células de teste possuem características similares, variando-se apenas o sistema de cobertura (telhas e forro, etc.).

Nas coberturas utilizaram-se os valores da inclinação mínima recomendados pelo fabricante de cada sistema de cobertura. A descrição geral da implantação e da construção das células de teste pode ser verificada a seguir:

4.4.1. Terreno

As células de teste estão localizadas no terreno de maneira tal que recebam os raios de sol, o fluxo de vento ou qualquer outro evento climático, para que todas tenham mesmas condições de igualdade. Isso permite que as mesmas excitações climáticas atuem de forma similar e simultânea, com a mesma intensidade em cada célula de teste, que também foram implantadas para não provocar sombra uma na outra.

4.4.2. Fundação

Foi utilizado um sistema de fundação radier com 0,05 m de altura sobre lastro de Brita nº 1 e uma armadura de tela soldada do tipo Telcon aço CA 60. O concreto foi preparado com betoneria de 320 litros (preparado no canteiro de obras), alcançando uma resistência de 15,0 Mpa aos 28 dias. A tela recebeu recobrimento de 300 mm e está localizada na região inferior atuando como ferragem negativa. Os materiais utilizados foram: cimento tipo Portland CP II 32, da marca Itaú, brita nº 1 livre de impurezas, areia grossa e lavada, livre de argila, fragmentos de carvão e mica, assim como partículas de vegetais. O acabamento aplicado foi com a utilização de desempenadeira de madeira.

4.4.3. Alvenaria

As células de teste foram construídas com tijolos cerâmicos maciços nas medidas de 0,010x0,020x0,005 m, assentados com argamassa de cimento e areia, traço 1:2 preparado no canteiro de obras. Os tijolos foram assentados com juntas de 0,015 m, de espessura.

4.4.4. Estrutura das Coberturas

Utilizaram-se terças ou vigotas, em peroba aparelhada, nas dimensões de 0,06 x 0,12 m, isentas de qualquer agente que possa comprometer sua estabilidade ou aparência, bem como agentes biológicos, tais como, cupim, traça e outros.

4.4.5. Esquadrias

São de madeira incluindo-se os batentes das portas e das janelas. As células contam com uma porta de dimensões de 0,60 m por 2,10 m com fechadura tipo tranca que permite o uso de cadeado comum de latão. A janela tem 1,00 m por 0.70 m (Figuras 32 a 36).

Figura 32. Planta da Célula de Teste.

Figura 33. Cortes A-A' e B-B'.

Figura 12. Fachadas Laterais Norte e Sul.

Figura 35. Fachadas Oeste e Leste da célula teste.

Figura 36. Em A, se observa a Fachada Leste da célula de teste e em B, se observa a fachada Sul da célula de teste. Foto: Quiroa (2006).

4.4.6. Implantação

As células de teste foram dispostas de tal forma que não provoquem sombras entre elas e, assim, não afetar os resultados dos estudos realizados (Figura 37).

Figura 37. Em A, fachada Norte das células de teste. Em B, implantação das Células Experimentais localizadas no campo experimental do CRHEA, USP-São Carlos. Foto: Quiroa (2006).

4.5. Protótipo

Este protótipo (kit Paliteiro) se localiza no Campus I da USP São Carlos. O protótipo (kit Paliteiro) tem 6.80 m por 5.80 m em planta e 3 janelas de 1.40 m por 1.50 m a uma distância de 1.20 m do piso. A porta tem dimensão de 1.50m por 2.20 m. As paredes são de

gesso pré-fabricado e a cobertura é de telha da Ibaplaç como o forro do mesmo material (Figuras 38, 39 e 40).

Figura 38. Desenhos da Planta e Cortes do Protótipo (kit Paliteiro).

Figura 39. Fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste do Protótipo (kit Paliteiro).

Figura 40. Protótipo (kit Paliteiro) localizado no Campus I, USP, São Carlos, o qual é analisado como um caso ocupado. Em A, se observa a vista Oeste, em B se observa a vista Norte. Em C, se observam as vistas Sul e Leste e em D, se observam as vistas Sul e Oeste. Foto: Quiroa (2006).

4.6. Descrição do Equipamento utilizado para as medições

Nos locais de experimentação (Campus I da USP e CRHEA, USP) existem estações meteorológicas automáticas e equipamentos de aquisição de dados do comportamento térmico das células de teste e do protótipo (kit Paliteiro).

As estações contam com equipamento de aquisição de dados da empresa Campbell Scientific Inc., nos quais são coletados e armazenados os dados meteorológicos e do comportamento térmico obtidos a partir dos sensores instalados.

A estação meteorológica automática instalada no CRHEA USP está basicamente composta por sensores descritos na Tabela 4 e mostrados nas Figuras 41 a 46 com sua descrição:

Tabela 4. Sensores instalados na base meteorológica básica no CRHEA, USP

<i>01 CR10X (datalogger), 02 anemômetros, 01 anemoscópio, 01 painel solar, 01 bateria recarregável de 12 V,</i>	<i>01 controle de tensão, 01 sensor de temperatura e umidade relativa do ar, 01 sensor para pressão barométrica 01 pluviômetro 01 piranômetro (radiação solar)</i>
---	--

- Anemômetro

Vista Geral

Esquema

Descrição:

RMYoung Sensor de velocidade do vento.

Especificações

0 – 50 m/s $\pm$ 0,5 m/s

Valor mínimo: 0,5 m/s

Figura 41. Anemômetro de copos utilizado para monitorar a velocidade do ar. Fonte: Campbell SCI, 2006.

- Anemoscópio:

Vista Geral

Esquema

Descrição:

RMYoung Sensor de direção do vento.

Especificações:

0 – 50 m/s $\pm$ 0,5 m/s

Valor mínimo: 0,5 m/s

Figura 42. Anemoscópio utilizado para monitorar a direção do vento. Fonte: Campbell SCI, 2006.

- Pluviômetro:

Vista Geral

TB4 as viewed from above

Esquema

Descrição:

TB4 Sensor de Precipitação

Especificações:

0 – 27,6 "/hr (0 a 700 mm/hr)

$\pm$ 2% de 1" a 19,7"/hr

Incremento de: 0,1"

Figura 43. Pluviômetro utilizado para determinar a quantidade de precipitação pluvial em um determinado período do tempo. Fonte: Campbell SCI, 2006.

Piranômetro:

Vista Geral

LI200X Pyranometer
Esquema

Descrição:

LI200X Sensor de Radiação Solar

Especificações:

Rad. direta e difu: 400 a 700 nM

$\pm 5\%$ maximo, $\pm 3\%$ minimo.

Sensibilidade: $0,2 \text{ kw m}^{-2}$

Figura 44. Piranômetro utilizado para monitorar a radiação solar. Fonte: Campbell SCI, 2006.

- Termo-Higrômetro HMP45C:

Vista Geral

Esquema

Descrição:

HMP45C Sensor de Temperatura e Umidade

Especificações:

- 40°C a $+60^{\circ}\text{C}$

$\pm 2\%$ acima de 10-90% RH,

$\pm 3\%$ acima de 90-100% RH.

Abrigo meteorológico para sensor de temperatura HMP45C não aspirado RMYoung.

Figura 45. Higrômetro utilizado para monitorar a temperatura e umidade do ar. Fonte: Campbell SCI, 2006.

- Multiplexador AM416

Descrição:

O multiplexador é utilizado junto com o “dalalogger” para incrementar o numero de sensores que podem ser conectados ao “datalogger”. Neste caso o multiplexador utilizado possui 32 canais.

Figura 48. Multiplexador com capacidade de 32 canais. Fonte: Quiroa (2007).

Também é apresentada nas Figuras 49 a 52 a descrição de acessórios adicionais.

- Pára-raios:

Descrição:

É instalado nas estações climatológicas automáticas para proteger o equipamento de possíveis descargas elétricas.

Figura 49. Pára-raios.

- Caixa Ambientalmente Selada:

Descrição:

Esta caixa é utilizada para a proteção do equipamento de aquisição de dados

Material da caixa: fibra de vidro 25% moldada no calor, reforçada com poliéster, estabilizada UV

Nível de proteção (antes de furar): IP68

Intervalo temperatura: -50°C a $+150^{\circ}\text{C}$

Figura 50. Caixa Ambientalmente selada e utilizada para a proteção do equipamento que coleta os dados. Fonte: Campbell SCI, 2006.

- Painel Solar

Descrição:

SP10R, Painel Solar que se recarrega por meio de energia solar a bateria de 12 V

Voltagem de pico: 16.8 V

Peso: 3.3 lbs (1.5 kg)

Dimensões: 17" x 11" x 1" (42 x 26.9 x 2.3 cm)

Figura 51. Painel Solar. Fonte: Campbell SCI, 2006.

- Bateria 12 volts:

Descrição:

Fornece energia ao datalogger para seu funcionamento. Tem regulador para evitar as variações de energia que possam danificar o equipamento. Pode ser ligada diretamente na eletricidade (127 V) ou no Painel Solar.

Figura 52. Regulador de Carga com Bateria 12 Volts, a qual é alimentada por uma célula fotovoltaica. Este regulador tem a função de abastecer de energia e proteger o equipamento de aquisição de dados. Fonte: Quiroa (2007).

Para medições das células de teste e do protótipo (kit Paliteiro) foram utilizados os termopares como sensores para registrar as diferentes temperaturas superficiais e do ar. As pontas são eletro-soldadas numa atmosfera inerte de argônio o que evita a contaminação dos metais no termopar e a sua oxidação (Figuras 53a e 53b).

Figura 53. Em A, rolo de 100 m de Termopar. Em B, ponta do eletro-soldada em atmosfera de argônio. Fonte: Quiroa (2007).

4.6.1. Descrição dos sistemas de cobertura a serem medidos

- Lâmina Tetra Pak®:

Fabricante: IBAPLAC
Nome Comercial- Telha IBAPLAC
Perfil- Ondulado
Largura útil- 860 mm
Largura Total-920 mm
Comprimento- 2200 mm
Espessura- 6 mm
Peso Médio- 14 kg
Inclinação Mínima- 15°
Apoios Necessários- 3

Figura 54. Nesta foto se observa a Telha Ibapla. Fonte: http://www.ibapla.com.br/prod_telhaal2.html.

- Lâmina de Fibrocimento:

Fabricante: Eternit S/A

Nome Comercial: Telha Tropical

Perfil- Ondulado

Espessura- 5 mm

Largura total - 1100 mm

Largura útil - 1050 mm

Espessura - 5 mm

Peso médio cobertura - 154 Kg/m²

Vão livre máximo (1,83/2,44) - 1,69m

Balanço longitudinal máximo - 0,40 m

Balanço lateral máximo - 0,10 m

Inclinação mínima - 10° (8%)

Sobreposição mínima - 0,14 m

Figura 55. Nesta foto se observa a Telha Fibrocimento Eternit Tropical.
Fonte: <http://www.leodaconstrucao.com.br>.

- Telha Cerâmica

Largura Total - 240 mm

Comprimento Total -400 mm

Distância entre as ripas - 330 mm

Inclinação mínima - 26%

Consumo - 16 peças por m²

Figura 56. Nesta foto se observa a Telha Cerâmica Tipo Romana.
Fonte: <http://www.aldebaraceramica.com.br>

4.6.2. Instalação do Material em estudo

Conforme foi mencionado, em duas das quatro células de teste, foram instaladas as telhas recicladas Ibaplaç (Figuras 57a e 57b). Em outra, foi colocada a cobertura de telhas cerâmicas (Figura 57c) e na última, cobertura de fibrocimento (Figura 57d).

Figura 57. Em A, célula de Teste #6 com telha Ibaplaç e forro de madeira. Em B, célula de teste #5 com telha Ibaplaç e forro de laje cerâmica. Em C, célula de teste #11 com telha cerâmica e forro de laje cerâmica. Em D, célula de teste #4 com telha de fibrocimento e forro de laje cerâmica.

O protótipo (kit Paliteiro) foi coberto com telhas Ibaplaç com aplicação de forro produzido com plástico, alumínio e resíduo de papel prensado feito pela Ibaplaç e se utiliza forro fabricado com o mesmo material.

4.7. Instalação dos sensores e do Equipamento de Medição

4.7.1. Instalação dos sensores nas Células de Teste

Os termopares foram instalados da seguinte forma (Figura 58):

Figura 58. Instalação dos 5 termopares nas células de teste, 1.-monitora a Temperatura superficial da face interna da telha, 2.-monitora a temperatura do ar entre a telha e forro, 3.-monitora a temperatura superficial superior do forro, 4.-monitora a temperatura superficial inferior do forro, 5.-monitora a temperatura do ar interior da célula teste.

- Um termopar tipo “T” foi instalado na parte inferior interna da cobertura (Figura 59), o qual teve a função de medir a temperatura superficial da face interna da Tela.

Figura 59. Esquema da forma como foram colocadas as pontas dos termopares para monitorar as temperaturas superficiais da telha.

- Outro termopar foi instalado no ático (Figura 60), para medir a temperatura de bulbo seco (tbs).
- Foram colocados outros dois termopares para medir a temperatura superficial interna das duas superfícies do forro (Figuras 61a e 61b).

Figura 60. Neste desenho se observa a posição e a forma em que foram inseridos os termopares para medir as temperaturas superficiais interiores e exteriores do forro.

- O último termopar foi instalado no interior da célula teste para medir a temperatura interna do ar.

Figura 61. Em A, foto mostrando a ponta do termopar com pasta térmica, monitorando a temperatura superficial da telha. Em B, sensor de temperatura com abrigo isolado monitorando temperatura do ar do ático. Foto: Quiroa (2007).

4.7.2 Instalação dos sensores no Protótipo (kit Paliteiro)

No protótipo (kit Paliteiro) foram instalados 20 termopares tipo “T”, os quais são descritos a seguir (Figuras 62 e 63):

Figura 62. Localização dos termopares instalados no protótipo (kit Paliteiro) para monitorar as temperaturas interiores de ar e superficiais das paredes, forro e telhas. Os dados foram coletados e armazenados pelo sistema automático de aquisição de dados.

Figura 63. Nesta figura observa-se os locais onde foram colocados os termopares no protótipo (kit Paliteiro) para o monitoramento das temperaturas interiores do ar e as superficiais das paredes, forro e telhas. Os dados foram coletados e armazenados pelo sistema automático de aquisição de dados.

1. Foi instalado um termopar em cada uma das paredes das envolventes voltadas ao exterior, assim como uma parede interna, de acordo com a Figura 64.

Figura 64. Ponta do termopar com pasta térmica, inserida na parede para monitorar a temperatura superficial interna. Foto: Quiroa (2007).

2. Foram instalados dois termopares para medir a temperatura superficial interna das telhas, sendo que um foi colocado na superfície com inclinação oeste do telhado e, o outro, na inclinação leste. Além destes existem outros dois que medem a temperatura do ar no ático, entre a cobertura e o forro, de acordo com as Figuras 65, 66a e 66b.

Figura 65. Neste desenho se indica a colocação da ponta do termopar inserido para monitorar as temperaturas superficiais da telha.

Figura 66. Em A, detalhe da ponta do termopar com pasta térmica inserida na telha para medir a temperatura superficial. Em B, detalhe do Termopar com abrigo isolado medindo a temperatura do ar entre a telha e forro. Fote: Quiroa (2007).

3. Outros quatro termopares medem a temperatura superficial interna e do forro, dos quais, dois medem a temperatura superficial superior (face voltada para a telha) e dois medem a temperatura superficial inferior (face interna à edificação), de acordo com figuras 67, e 68.

Figura 67. Neste desenho se ilustra esquematicamente a colocação e a forma em que foram inseridas as pontas dos termopares para monitorar as temperaturas superficiais interiores e exteriores do forro.

Figura 68. Ponta do termopar com pasta térmica, inserida no forro inferior para medir a temperatura superficial. Foto: Quiroa (2007).

4. Cinco sensores para medir a temperatura do ar interior (Tbs) da edificação distribuídos dentro do protótipo (kit Paliteiro) (figura 69).

Figura 69. Detalhe mostrando a ponta do termopar com abrigo isolado para medir a temperatura do ar interna do protótipo (kit Paliteiro). Foto: Quiroa (2008).

4.8. Coleta de dados Climatológicos.

4.8.1. Pontos de Medição Automáticos

Foi realizada a coleta de dados climatológicos por meio de estações automáticas, uma localizada no CRHEA, onde estão construídas as células de teste do canteiro experimental. Outro ponto de medição está na USP, Campus 1, São Carlos, local do protótipo (kit Paliteiro) experimental ocupado. Os dados coletados pelos pontos de medição foram:

Radiação Solar.

Temperatura e umidade relativa do ar.

Pressão Atmosférica.

Direção e velocidade dos Ventos.

Precipitação.

O período de medições experimentais realizado durante o projeto foi na transição das estações de outono-inverno de 2008. Com os dados coletados foram feito gráficos dos valores registrados pelos sensores, que conjuntamente com as imagens de satélite foram utilizados

para identificar o episódio representativo e as etapas que o compõem como: etapa pré-frontal dividida em: prenúncio e avanço das frentes frias, e etapa pós-frontal dividida em: domínio e transição (VECCHIA, 1997).

A importância da identificação das etapas do episódio representativo, é que a etapa pré-frontal na fase de prenúncio se caracteriza por um sobreaquecimento denominado por Monteiro (MONTEIRO, 1964) de aquecimento pré-frontal. Nessa etapa identificou-se o dia representativo para a análise do comportamento térmico das coberturas, que no caso procurou-se um dia de excepcional calor que superara as temperaturas médias máximas registradas nas Normais Climatológicas 1961-1990 para o período de medições (transição outono-inverno 2008).

4.8.2. Protótipos e Células de Teste

Os dados do protótipo (kit Paliteiro) e das células registrados e armazenados no “datalogger” foram coletados a cada 20 segundos e totalizados a cada meia hora. Para coletar desses dados foi utilizado um cabo serial especial para conectar o “datalogger CR10X” ao computador.

Os valores que foram utilizados para a análise do comportamento térmico das coberturas aplicadas nas quatro células de teste e no protótipo (kit Paliteiro) são: temperatura superficial inferior das telhas utilizadas (Ibaplac, fibrocimento, cerâmica), temperaturas superficiais superiores e inferiores dos forros (Ibaplac, madeira, laje cerâmica) e as temperaturas internas do ar das quatro células de teste e do protótipo (kit Paliteiro).

Estes dados são os registrados pelos sensores (termopares), instalados nas diferentes zonas do protótipo (kit Paliteiro) e das células de teste, descritos anteriormente. Estes dados foram utilizados para elaborar planilhas e gráficos, do dia representativo, para a comparação

dos resultados obtidos com o intuito de analisar o comportamento térmico das diferentes coberturas em estudo.

No capítulo seguinte são aplicados o episódio representativo e o dia representativo para a análise do comportamento térmico dos sistemas de coberturas utilizados nas células de teste e no protótipo (kit Paliteiro).

5. AVALIAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos, experimentalmente, das medições realizadas no período de monitoramento no protótipo (kit Paliteiro) de cobertura com telhas Ibaplac-forro Ibaplac, juntamente com as quatro células de teste a saber: 1. telha Ibaplac-forro madeira, 2. telha Ibaplac- forro laje cerâmica, 3. telha cerâmica- forro laje cerâmica, 4.telha fibrocimento- forro laje cerâmica.

Os resultados obtidos foram analisados e são apresentados da seguinte maneira:

- Análise Climática

- Caracterização e análise do episódio representativo

Tendo os resultados das estações climatológicas do período experimental selecionado que correspondem a período de transição da estação outono inverno de 2008. Dos quais foram elaborados gráficos com dados obtidos neste período de medições, considerando-se os diferentes domínios das massas de ar que atuaram na região. Depois, utilizando as imagens de satélite GOES (CPTEC INPE, b, 2008), adotou-se o episódio representativo, da estação outono-inverno, entre os identificados durante o período experimental, no qual se têm registrado as maiores temperaturas, uma vez que se quer estudar a reação frente ao calor. Por tanto adotou-se o episodio com excepcionais valores das temperaturas do ar, ocorrido entre os dias 27 de abril ao 7 de maio do 2008 .

- Definição do dia representativo experimental

Uma vez determinado o período representativo, tomou-se, para a facilidade de análise dos resultados, o dia que apresentou o maior valor de temperatura, os valores adotados correspondem ao dia mais similar que este entre os registros das Normais Climatológicas 1960-1991 para o mês de abril, com temperatura media máxima de: 25.7°C e temperatura

media mínima de: 15.5°C, avaliando, assim, a reação ao calor nesse dia representativo experimental.

- Apresentação dos resultados obtidos nas quatro células de teste e no protótipo (kit Paliteiro) analisado.

Tendo identificado o dia representativo experimental, tomaram-se os resultados das quatro células teste e do protótipo (kit Paliteiro), que foram comparados para conhecer o comportamento térmico dos elementos construtivos em estudo.

Para a determinação do comportamento térmico dos sistemas de cobertura foram comparados os resultados da seguinte forma:

- Analisou-se por meio da comparação os valores da temperatura de ar exterior com a temperatura interior do ar, tomando-se como base que a célula teste em que se registrou a menor temperatura interior do ar em relação com a temperatura de ar externa, significa que tem melhor comportamento térmico.
- Analisou-se por meio da comparação os valores das temperaturas superficiais das diferentes células teste, sendo que a telha que registre menor temperatura superficial é a que está tendo melhor comportamento térmico.
- Analisou-se a relação das duas células teste que tem cobertura com telhas Ibaplac, uma com forro de madeira e outra com forro de laje cerâmica, e no protótipo (kit Paliteiro) com forro Ibaplac, compararam-se os três casos para saber com qual dos forros a telha Ibaplac apresenta um comportamento térmico mais conveniente.
- No protótipo (kit Paliteiro), em estudo, foram analisados os valores para serem comparados com os resultados obtidos das células de teste. O objetivo dessa comparação foi identificar as diferenças de oscilação entre as curvas das temperaturas das células de teste com relação às curvas das temperaturas do protótipo (kit Paliteiro).

- Todos os resultados foram analisados por meio de planilhas, gráficos, necessários para a compreensão dos valores obtidos, conforme se apresentam a seguir:

5.1. Episódio representativo e dia representativo experimental

O episódio representativo foi tomado do período de medições realizado na situação de transição de outono-inverno de 2008. O episódio tomado corresponde do dia 27 de abril ao dia 7 de maio de 2008. De todas as variáveis que foram consideradas para a definição e o estudo do episódio representativo foram feitos os gráficos somente da radiação solar global e a temperatura exterior do ar, que, conjuntamente com as imagens de satélite evidenciam as etapas pré e pós-frontal do episódio escolhido.

De acordo com os dados climáticos consultados na Síntese Sinótica Mensal da página do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Especiais (INPE¹), na segunda quinzena do mês de abril houve a atuação de uma massa de ar polar. Esta foi considerada como o nono domínio de uma mPA, foi um dos frentes frios mais intensos, deste mês, que entrou em São Paulo nos dias 29-30 de abril de 2008, provocando fortes quedas nas temperaturas.

A Figura 70, a seguir, corresponde à curva da radiação solar global e permite e auxilia a identificar as diferentes etapas do episódio escolhido. A pré-frontal se divide nas fases de prenúncio, que corresponde aos dias 27-28 de abril, e a fase de avanço dos dias 29 de abril a 1 de maio. A etapa pós-frontal na fase de domínio iniciou-se no dia 2 de maio. A fase de transição ou de tropicalização ocorreu entre os dias 3 a 7 de maio. Na parte esquerda da Figura 70 destaca-se o dia 27 de abril, que apresentou um valor máximo de 800 W/m².

¹ WWW.cptec.inpe.br/tempo

Figura 70. Gráfico da radiação solar global, do episódio representativo, de outono-inverno, se observa as diferentes etapas: pré-frontal (prenúncio-avanço), e pós-frontal (domínio-tropicalização). Na parte esquerda do gráfico, encontra-se em destaque o dia 27 de abril o qual foi selecionado como o dia representativo experimental devido às condições de excepcional calor.

Na figura 71, observa-se o gráfico da temperatura externa do ar correspondente ao episódio representativo. Define-se os dias 27 a 29 de abril como os dias de calor sob o domínio da massa Tropical Atlântica (mTA) e os dias 30 de abril a 7 de maio, sob o domínio da massa Polar Atlântica (mPA). Estão marcadas com linhas descontínuas as temperaturas média máxima de $26^{\circ}C$ e média mínima de $16^{\circ}C$, correspondentes ao mês de abril, tomado das Normais Climatológicas de 1961-1990. O dia 27 de abril foi selecionado como o dia representativo experimental por superar a temperatura média máxima das Normais Climatológicas 1961-1990, por tanto um indicativo de excepcional calor. Este dia ocorre na etapa pré-frontal, na fase de prenúncio, que se caracteriza por apresentar um sobreaquecimento nos dias que antecedem a entrada da frente fria (VECCHIA, 2005) e denominado por Monteiro (MONTEIRO, 1964) aquecimento pré-frontal.

Figura 71. Gráfico da temperatura externa do ar do episódio representativo selecionado. Nas linhas descontinuas estão marcadas as temperaturas média máxima de 26 °C e a média mínima de 16°C correspondentes ao mês de abril, tomadas das Normais Climatológicas 1961-1990. Nos dias 27-29 de abril os quais superam as temperaturas média máxima e média mínima, estão sobre o domínio da massa Tropical Atlântica (mTA), dias 30 de abril a 7 de maio ocorre o domínio da massa Polar Atlântica (mPA). Na parte esquerda do gráfico, destaca-se o dia 27 de abril.

Na tabela 5, são descritas as imagens do satélite GÖES dos dias do episódio representativo, dividido nas diferentes etapas, como: etapa pré-frontal: fase de prenúncio (27-29 de abril) e fase de avanço (30 de abril a 1º maio). Na etapa pós-frontal: fase de domínio (2 de maio) e a fase de transição e tropicalização (2 a 7 de maio).

Tabela 5. Descrição das imagens do satélite GÓES (CPTEC-INPE, 2008), nos dias correspondentes ao episódio representativo nas suas diferentes etapas.

Imagens	Descrições	t máx (°C)	t mín (°C)	Ampl. Térm.
Abril 27: etapa pré-frontal, fase de prenúncio que se caracteriza pelo sobreaquecimento nos dias prévios a entrada da frente fria, que, está sobre o estado do Rio Grande do Sul como se ilustra com linha na imagem.	29°C	13.7°C	15.3°C
Abril 28: etapa pré-frontal, fase de prenúncio, com a atuação da massa Polar Atlântica nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, como se ilustra com linha na imagem.	28°C	18°C	10°C
Abril 29: etapa pré-frontal, fase de avanço, a frente fria próxima ao estado de São Paulo como se vê marcado com linha descontinua na imagem. ²	28°C	18.7°C	9.3°C

² Na pagina 87, Figura 71, na curva da temperatura externa do ar do dia 29 se pode ver a queda da temperatura na cidade de São Carlos no período da tarde.

<p>Abril 30: pré-frontal, fase de avanço e começo do domínio. A massa Polar Atlântica se encontra no estado de São Paulo, em São Carlos, se registraram baixas temperaturas.</p>	21.3°C	17.1 °C	4.2°C
<p>Maio 1: pós-frontal fase de domínio da frente fria, atuando sob o estado de São Paulo. Ilustra-se a frente com linha na imagem. Na cidade de São Carlos com registro de baixas temperaturas.</p>	20.4°C	13.7 °C	6.7°C
<p>Maio 2: pós-frontal fase de domínio da massa Polar Atlântica, sob o estado de São Paulo. Ilustra-se a frente marcada com linha na imagem. Na cidade de São Carlos as temperaturas continuam baixas.</p>	19.4°C	16.7°C	2.7°C
<p>Maio 3: pós-frontal, fase de domínio da massa Polar Atlantica, mas já começa a perder a intensidade se marca com linha descontinua a área de atuação, ainda sob o estado de São Paulo. Na parte sul se observa a formação de uma nova frente fria a qual foi marcada com linha na imagem.</p>	17.6°C	11.9°C	5.7°C

<p>Maio 4: pós-frontal fase de tropicalização, a massa Polar Atlantica com intensidade diminuída e as temperaturas na cidade de São Carlos começam a elevar-se (Figura 71)</p>	<p>20.4°C</p>	<p>12°C</p>	<p>8.4°C</p>
---	--	---------------	-------------	--------------

5.2. Dia Representativo Experimental

Os critérios para a escolha do dia representativo experimental foram a ausência de nebulosidade, maior amplitude térmica e a temperatura máxima mais elevada. Utilizaram-se os valores da radiação solar global e a temperatura do ar externa para defini-lo. No caso deste estudo procurou-se um dia excepcionalmente quente superara a temperatura media máxima registrada no mês de abril dos valores tomados das Normais Climatológicas de 1960-1991. O dia escolhido como representativo foi o dia 27 de abril, ver figuras 70, 71.

5.2.1. Radiação solar global

Observa-se na figura 72, o dia 27 de abril de 2008, tomado como dia representativo experimental, o qual se caracteriza por ser um dia sem nebulosidade, céu limpo e, portanto, máxima radiação, apresentando um valor de 800 W/m^2 às 12:00 horas.

Figura 72. O Gráfico da radiação solar global mostra a forma aparente da parábola indicando a ausência de nebulosidade no dia 27 de abril, definido como o dia representativo experimental.

5.2.2. Temperatura externa do ar

No dia 27 de abril se registrou o valor de 14°C para a temperatura de ar externa mínima às 6:30 horas. A temperatura máxima deste dia foi de 29 °C às 15:30 horas. Portanto, a amplitude térmica registrada neste dia foi de 15°C. Este dia se apresenta na etapa de Pré-Frontal, na fase de prenúncio, e se caracteriza pelo sobreaquecimento das temperaturas do ar, fenômeno comum que antecede a entrada de frentes frias. Na figura 73, observa-se que a temperatura máxima registrada no dia foi 3°C superior que a temperatura média máxima, registrada nas Normais Climatológicas para o mês de abril, o que indica o referido dia como de excepcional calor, junto com a ausência de nebulosidade o que permite a incidência da energia solar.

Figura 73. Gráfico da temperatura externa do ar registrada no dia 27 de abril de 2008. A temperatura mínima registrada foi de 14°C, as 6:30 horas. A temperatura máxima registrada foi de 29°C, as 15:30 horas. A amplitude térmica foi de 15°C.

5.3. Células Experimentais

5.3.1. Telha Ibaplac forro de madeira

Quatro células de teste (experimentais) conforme descrito na metodologia, foram então utilizadas para a comparação do comportamento térmico dos quatro diferentes sistemas de cobertura.

5.3.1.1. Temperaturas Superficiais

A célula com cobertura de telha Ibaplac e forro de madeira apresentou os seguintes valores, como se observa na figura 74 e na tabela 6:

- Temperatura superficial interior da telha ($\theta_{si-telha-inf}$): a mínima foi de 11°C, às 6:00 horas e a máxima de 40°C, às 12:00 horas, com uma amplitude térmica (A) de 29°C.

- Temperatura superficial superior do forro ($\theta_{si}\text{-forro-sup}$): a mínima foi de 13°C às 6:30 horas e a máxima de 29°C, às 15:00 horas, com uma amplitude térmica (A) de 16°C. O atraso térmico (ϕ) foi de 3 horas.
- Temperatura superficial inferior do forro ($\theta_{si}\text{-forro-inf}$): a mínima foi de 14°C, às 6:30 horas, a máxima foi de 28°C, às 15:30 horas, tendo uma amplitude térmica (A) de 14°C. O atraso térmico (ϕ) foi de 30 minutos.

Figura 74. Gráfico das temperaturas superficiais da telha e do forro, registradas na célula de teste com sistema de cobertura Ibaplaç-Madeira. A temperatura máxima de 40°C da telha foi às 12:00 horas, a temperatura máxima superficial superior do forro foi de 29°C com um atraso térmico de 3 horas, a temperatura superficial inferior do forro foi de 28°C com 30 minutos de atraso térmico.

Tabela 6. Síntese dos valores das temperaturas superficiais registradas na célula de teste telha Ibapla-Madeira.

	$\Theta_{si-telha-inf}$	$\Theta_{si-forro-sup}$	$Atraso$ $T\acute{e}rmico \varphi$	$\Theta_{si-forro-inf}$	$Atraso$ $T\acute{e}rmico$ φ
Temp. Máxima	40°C/12:00 h	29°C/15:00 h	3 h	28°C/15:30 h	30 min
Temp. Mínima	11°C/6:00 h	13°C/6:30 h	30 min	14°C/6:30 h	-
A (°C)	29°C	16°C		14°C	

5.3.1.2. Temperaturas de ar

Na figura 75 se observam as curvas com os valores das temperaturas do ar interna e externa. Os dados foram sintetizados na tabela 7:

- Temperatura externa do ar (tar-ext): a temperatura mínima foi de 13.7°C, às 6:30 horas e a máxima foi de 29°C, às 15:30 horas. A amplitude térmica (A) foi de 15.3°C.
- Temperatura interna do ar (tar-int): a temperatura mínima foi de 14°C às 6:30 horas e a máxima foi de 25°C às 16:00 horas. A amplitude térmica (A) foi de 11°C. O atraso térmico (φ) foi de 30 minutos.

Tabela 7. Síntese contendo os valores das temperaturas do ar registradas na célula de teste telha Ibapla-Madeira.

	$Temperatura\ do\ ar$ $externa$	$Temperatura\ do\ ar$ $interna$	$Atraso\ T\acute{e}rmico\ \varphi$
Temp. Máxima	29°C/15:30 h	25°C/16:00 h	30 min
Temp. Mínima	13.7°C/6:30 h	14°C/6:30 h	-
A (°C)	15,3°C	11°C

Figura 75. Neste gráfico se observam as curvas das temperaturas do ar interna e externa do dia representativo. A temperatura máxima exterior do ar foi de 29°C às 15:30 horas, a máxima interior do ar foi de 25°C às 16:00 horas com uma diferença de 30 minutos entre estas.

No gráfico, da figura 76, observa-se a curva da diferença entre a temperatura interna do ar (tar-int) e a temperatura externa do ar (tar-ext) no decorrer do dia representativo. No período noturno (período das 18:00 às 1:30 horas e das 3:00 às 7:00 horas), a temperatura do ar interior (tar-int) foi maior do que a temperatura exterior do ar exterior (tar-ext). Durante o dia (nos períodos das 1:30 às 3:00 horas e das 7:00 às 18:00 horas), a temperatura interior do ar (tar-int) foi menor que a temperatura externa do ar (tar-ext).

Figura 76. Gráfico da diferença entre as temperaturas interna e externa no decorrer do dia. Observa-se que durante a noite a temperatura interior do ar (tar-int), foi maior que a temperatura exterior do ar (tar-ext), e que durante o dia, ao contrário a temperatura interior do ar (tar-int) foi menor que a temperatura exterior do ar (tar-ext).

5.3.2 Telha Ibaplaç forro de laje cerâmica

5.3.2.1. Temperaturas Superficiais

A célula de teste com cobertura de telhas Ibaplaç e com forro laje cerâmica apresentou os seguintes valores, como observado na, figura 77, e na tabela 8:

- Temperatura superficial interior da telha ($\theta_{si-telha-inf}$): a mínima foi de 11°C, às 6:00 horas e a máxima de 41.5°C, às 12:00 horas, com uma amplitude térmica (A) de 30.5°C.
- Temperatura superficial superior do forro ($\theta_{si-forro-sup}$): a mínima foi de 14,2°C, às 6:30 horas, a máxima de 24.6°C, às 15:00 horas, com uma amplitude térmica (A) de 10.4°C. O atraso térmico (ϕ) foi de 4 horas e 30 minutos.

- Temperatura superficial inferior do forro ($\theta_{si}\text{-forro-sup}$): a mínima foi de 14.8°C, às 6:30 horas e a máxima foi de 24.3°C, às 15:30 horas, tendo uma amplitude térmica (A) de 9,5 °C. Não houve atraso térmico (ϕ).

Tabela 8. Síntese contendo os valores das temperaturas superficiais registradas na célula de teste telha Ibaplaç-Laje cerâmica.

	$\theta_{si}\text{-telha-inf}$	$\theta_{si}\text{-forro-sup}$	Atraso Térmico ϕ	$\theta_{si}\text{-forro-inf}$	Atraso Térmico ϕ
Temp. Máxima	41.5°C/12:00 h	24.6°C/15:00 h	3 h	28°C/15:30 h	30 min
Temp. Mínima	11°C/6:00 h	14.2°C/6:30 h	30 mn.	14°C/6:30 h	-
A (°C)	30.5°C	10.4°C		14°C

Figura 77. Gráficos com as curvas das temperaturas superficiais da telha e do forro da célula com cobertura Ibaplaç-Laje cerâmica, A temperatura máxima da telha superficial da telha foi de 41.5°C às 12 horas, 4 horas y 30 minutos depois se registraram as temperaturas superficiais máximas do forro, na face superior foi de 24.6°C e na face inferior foi de 24.3°C.

5.3.2.2. Temperaturas de Ar

Na figura 78 observam-se as curvas com valores das temperaturas interna e externa do ar. Os dados foram sintetizados na tabela 9:

- Temperatura externa do ar (tar-ext): a temperatura mínima foi de 13.7°C, às 6:30 horas e a máxima foi de 29°C, às 15:30 horas. A amplitude térmica (A) foi de 15.3°C.
- Temperatura interna do ar (tar-int): a temperatura mínima foi de 14.5°C às 6:30 horas e a máxima foi de 24.3°C, às 16:00 horas, sendo que a amplitude térmica (A) foi de 11°C. O atraso térmico (ϕ) foi de 1 hora.

Figura 78. Gráfico das curvas das temperaturas do ar interior e exterior do dia representativo, valores que correspondem à célula de Ibaplaç-Laje, a temperatura externa do ar atingiu o valor máximo as 15:30 horas, 1 hora depois a temperatura máxima interna do ar registrou seu valor máximo de 24.3°C.

Tabela 9. Síntese dos valores das temperaturas do ar registradas na célula de teste telha Ibaplaç-Laje cerâmica

	<i>Temperatura do ar externa</i>	<i>Temperatura do ar interna</i>	<i>Atraso térmico ϕ</i>
Temp. Máxima	29°C/15:30 h	24.3°C/16:30 h	1 h
Temp. Mínima	13.7°C/6:30 h	14.5°C/7:00 h	30 min
A (°C)	15.3°C	9.8°C	

Na figura 79 se observa a diferença entre as temperaturas interna (tar-int) e externa do ar (tar-ext), no decorrer do dia experimental. No período noturno (das 18:30 às 7:00 horas), a temperatura interna de ar (tar-int) foi maior que a temperatura externa de ar (tar-ext). Durante o dia (período das 7:00 às 18:30 horas), a temperatura interna do ar (tar-int) foi menor que a temperatura do ar (tar-ext).

Figura 79. Gráfico da curva da diferença entre a temperatura interna de ar e a temperatura externa de ar no decorrer do dia representativo. É possível observar que no período das 18:30 às 7:00 horas, a temperatura interna do ar (tar-int) foi maior que a temperatura externa do ar (tar-ext) e que no período das 7:00 às 18:30 horas a temperatura interior de ar (tar-int) foi menor que a temperatura exterior de ar (tar-ext).

5.3.3. Telha Cerâmica forro laje cerâmica

5.3.3.1. Temperaturas Superficiais

A célula com cobertura de telha cerâmica e forro de laje cerâmica apresentou os seguintes valores como se observa na figura 80 e na tabela 10:

- Temperatura superficial interior da telha ($\theta_{si-telha-inf}$): a mínima foi de 11.3°C, às 6:00 horas e a máxima de 45.2°C, às 12:00 horas, com uma amplitude térmica (A) de 33.9°C.
- Temperatura superficial superior do forro ($\theta_{si-forro-sup}$): a mínima foi de 13.8°C, às 6:30 horas e a máxima de 26.3°C às 15:30 horas, com uma amplitude térmica (A) de 12.5°C. O atraso térmico (ϕ) foi de 3 horas e 30 minutos.
- Temperatura superficial inferior do forro ($\theta_{si-forro-inf}$): a mínima foi de 14.5°C, às 6:30 horas e a máxima foi de 25.3°C às 17:00 horas, tendo uma amplitude térmica (A) de 10.8°C. O atraso térmico (ϕ) foi de 1 hora e 30 minutos.

Tabela 10. Síntese contendo os valores das temperaturas superficiais registradas na célula de teste telha cerâmica-Laje cerâmica.

	$\theta_{si-telha-inf}$	$\theta_{si-forro-sup}$	Atraso térmico ϕ	$\theta_{si-forro-inf}$	Atraso térmico ϕ
Temp. Máxima	45.2°C/12:00 h	26.3°C/15:30 h	3 h 30 min	25.3°C/17:00 h.	1 h. 30 min
Temp. Mínima	11.3°C/6:00 h	13.8°C/6:30 h	30 min	14.5°C/7:30 h.	1 h
A (°C)	33.9°C	12.5°C		10.8°C

Figura 80. Gráfico das curvas como os valores das temperaturas superficiais, a temperatura da telha teve o valor máximo de 45,2°C às 12:00 horas, a temperaturas superior do forro registrou o valor Máximo de 26,3°C 3 horas e 30 minutos depois, a temperatura inferior do forro teve 25,3°C às 15:30 horas, 1 hora 30 minutos depois que a temperatura máxima superior do forro.

5.3.3.2. Temperaturas de ar

Na figura 81 se observam as curvas com valores das temperaturas internas e externa do ar. Os dados foram sintetizados na tabela 11:

- Temperatura externa do ar (tar-ext): a temperatura mínima foi de 13,7°C, às 6:30 horas e a máxima foi de 29°C, às 15:30 horas. A amplitude térmica (A) foi de 15,3°C.
- Temperatura interna do ar (tar-int): a temperatura mínima foi de 14,4°C às 6:30 horas e a máxima foi de 25°C às 16:30 horas. A amplitude térmica (A) foi de 10,6°C. O atraso térmico (φ) foi de 1 hora.

Figura 81. Gráfico das curvas com valores das temperaturas do ar interno e externo do dia representativo experimental. A temperatura máxima externa do ar foi de 29°C às 15:30 horas, a temperatura máxima interna do ar foi de 25°C às 16:30 horas, tendo 1 hora de diferença entre estas.

Tabela 11. Síntese contendo os valores das temperaturas do ar registradas na célula de teste telha cerâmica-Laje cerâmica.

	Temperatura do ar externa	Temperatura do ar interna	Atraso térmico φ
Temp. Máxima	29°C/15:30 h	25°C/16:30 h	1 h
Temp. Mínima	13,7°C/6:30 h	14,4°C/6:30 h	-
A (°C)	15,3°C	10,6°C	

Na Figura 82, observa-se a diferença entre as temperaturas do ar interior (tar-int) e do ar exterior (tar-ext) no decorrer do dia representativo. No período noturno (período das 18:00 às 7:00 horas) a temperatura interna do ar (tar-int), foi maior que a temperatura exterior do ar (tar-ext). Durante o dia (período das 7:00 às 18:00 horas), a temperatura interna do ar (tar-int), foi menor que a temperatura externa do ar (tar-ext).

Figura 82. Gráfico da diferença entre a temperatura interna do ar (tar-int) e a temperatura externa do ar (tar-ext), no decorrer do dia. Observa-se que no período das 18:00 às 7:00 horas, a temperatura interna do ar (tar-int) foi maior que a temperatura do ar externa, e que no período das 7:00 às 18:00 horas, a temperatura interna de ar interna foi menor que a temperatura externa de ar (tar-ext).

5.3.4 Telha Fibrocimento forro laje cerâmica

5.3.4.1. Temperaturas Superficiais

A célula com de cobertura de telha de fibrocimento e laje cerâmica apresentou os seguintes valores como se observa na figura 83 e na tabela 12:

- Temperatura superficial interior da telha ($\theta_{si-telha-inf}$): a mínima foi de 11°C, às 6:00 horas e a máxima de 52.2°C, às 12:00 horas, com uma amplitude térmica (A) de 42.2°C.

- Temperatura superficial superior do forro ($\theta_{si}\text{-forro-sup}$): a mínima foi de 13.5°C, às 6:30 horas e a máxima de 32°C, às 14:30 horas, com uma amplitude térmica (A) de 18.5°C. O atraso térmico (ϕ) foi de 2 horas e 30 minutos.
- Temperatura superficial inferior do forro ($\theta_{si}\text{-forro-inf}$): a mínima foi de 14°C, às 7:00 horas e a máxima foi de 28.2°C, às 16:00 horas, tendo uma amplitude térmica (A) de 14.2°C. O atraso térmico (ϕ) foi de 1 hora e 30 minutos.

Figura 83. Gráfico das temperaturas superficiais da telha e do forro da célula com sistema de cobertura telha fibrocimento-laje cerâmica. A temperatura superficial da telha teve o valor máximo de 52.2°C às 12:00 horas, 2 horas 30 minutos depois a temperatura superficial superior do forro teve seu valor máximo de 32°C, e 1 hora 30 minutos depois a temperatura máxima do forro inferior foi de 28.2°C.

Tabela 12. Síntese contendo os valores das temperaturas superficiais registradas na célula de teste Fibrocimento-Laje cerâmica.

	$\Theta_{si-telha-inf}$	$\Theta_{si-forro-sup}$	<i>Atraso Térmico φ</i>	$\Theta_{si-forro-inf}$	<i>Atraso térmico φ</i>
Temp. Máxima	52.2°C/12:00 h	32°C/14:30 h	2 h 30 min	28.2°C/16:00 h	1 h. 30 min
Temp. Mínima	11°C/6:00 h	13.5°C/6:30 h	30 min	14°C/7:00 h	30 min
A (°C)	42.2°C	18.5°C		14.2°C	

5.3.4.2. Temperaturas de ar

Na figura 84 se observam as curvas com os valores das temperaturas internas e externas do ar. Os dados foram sintetizados na tabela 13:

- Temperatura externa do ar (tar-ext): a temperatura mínima foi de 13.7°C, às 6:30 horas e a máxima foi de 29°C, às 15:30 horas. A amplitude térmica (A) foi de 15.3°C.
- Temperatura interna do ar (tar-int): a temperatura mínima foi de 14.4°C às 6:30 horas e a máxima foi de 26°C às 16:30 horas. A amplitude térmica (A) foi de 11.6°C. O atraso térmico (φ) foi de 1 hora.

Tabela 13. Síntese contendo os valores das temperaturas do ar registradas na célula de teste telha Fibrocimento-Laje cerâmica

	<i>Temperatura do ar externa</i>	<i>Temperatura do ar interna</i>	<i>Atraso térmico φ</i>
Temp. Máxima	29°C/15:30 h	26°C/16:30 h	1 h
Temp. Mínima	13.7°C/6:30 h	14.4°C/6:30 h	-
A (°C)	15.3°C	11.6°C

Figura 84. Gráfico das curvas das temperaturas interna do ar e exterior no dia representativo, a temperatura máxima externa foi de 29°C às 15:30 horas, a temperatura máxima interna foi de 26°C às 16:30 horas, tendo uma diferença de 1 hora entre estas.

Na figura 85, observa-se a diferença das temperaturas interna do ar (tar-int) e da temperatura externa do ar (tar-ext) no decorrer do dia representativo. No período noturno (período das 18:00 às 7:00 horas), a temperatura interior do ar (tar-int) foi maior que a temperatura exterior do ar (tar-ext). Durante o dia (período das 7:00 às 18:00 horas) a temperatura interior do ar foi menor (tar-int) que a temperatura exterior do ar exterior (tar-ext).

Figura 85. Gráfico da diferença entre a temperatura interior do ar (tar-int) e a temperatura exterior do ar (tar-ext) no decorrer do dia representativo. Observa-se que no período das 18:00 às 7:00 horas, a temperatura do ar interior (tar-int) foi maior que a temperatura do ar exterior (tar-ext). No período das 7:00 às 18:00 horas, a temperatura interior do ar (tar-int) foi menor que a temperatura exterior do ar (tar-ext).

5.3.5. Protótipo (kit Paliteiro)

No caso específico do protótipo (kit Paliteiro) é importante fazer menção, que em alguns horários no decorrer do dia, as temperaturas superficiais e do ar podem ter sido modificadas pela ação do sombreamento provocado por prédios e árvores localizados nas cercanias do protótipo (kit Paliteiro).

5.3.5.1. Temperaturas Superficiais

O protótipo (kit Paliteiro) com cobertura de telha Ibaplaç e forro Ibaplaç apresentou os seguintes valores como se observa na figura 86 e na tabela 14:

- Temperatura superficial interior da telha ($\theta_{si-telha-inf}$): a mínima foi de 16.4°C, às 7:00 horas e a máxima de 42.3°C, às 14:30 horas, com uma amplitude térmica (A) de 25.9°C.
- Temperatura superficial superior do forro ($\theta_{si-forro-sup}$): a mínima foi de 17.1°C, às 7:00 horas e a máxima de 34.9°C, às 14:30 horas, com uma amplitude térmica (A) de 17.8°C. Não houve atraso térmico.
- Temperatura superficial inferior do forro ($\theta_{si-forro-inf}$): a mínima foi de 18.4°C, às 7:00 horas e a máxima foi de 32°C, às 14:30 horas, tendo uma amplitude térmica (A) de 13.6°C. Não houve atraso térmico.

Figura 86. Gráfico das curvas das temperaturas superficiais da telha e do forro do protótipo (kit Paliteiro) com sistema de cobertura telha Ibaplaç-forro Ibaplaç, a temperatura superficial máxima da telha foi de 42.3°C, a temperatura superficial máxima superior do forro foi de 34.9°C, a temperatura máxima inferior do forro foi de 32°C todas ocorreram às 14:30 horas.

Tabela 14. Síntese contendo os valores das temperaturas superficiais registradas no protótipo (kit Paliteiro) com sistema de cobertura telha Ibaplaç-forro Ibaplaç

	$\Theta_{si-telha-inf}$	$\Theta_{si-forro-sup}$	<i>Atraso térmico</i>	$\Theta_{si-forro-inf}$	<i>Atraso térmico ϕ</i>
Temp. Máxima	42.3°C/14:30 h	34.9°C/14:30 h	-	32°C/14:30 h	-
Temp. Mínima	16.4°C/7:00 h	17.1°C/7:00 h	-	18.4°C/7:00 h	-
A (°C)	25.9°C	17.8°C		13.6°C	

5.3.5.2. Temperaturas de ar

Na figura 87 se observam as curvas com os valores das temperaturas externa e interna do ar. Os dados foram sintetizados na tabela 15:

- Temperatura externa do ar (tar-ext): a temperatura mínima foi de 13.7°C, às 6:30 horas e a máxima foi de 29°C, às 15:30 horas. A amplitude térmica (A) foi de 15.3°C.
- Temperatura interna do ar (tar-int): a temperatura mínima foi de 19°C às 7:00 horas e a máxima foi de 26.6°C às 15:30 horas. A amplitude térmica (A) foi de 7.6°C. Não houve atraso térmico.

Tabela 15. Síntese contendo os valores das temperaturas do ar registradas no protótipo (kit Paliteiro) com sistema de cobertura telha Ibaplaç-forro Ibaplaç

	<i>Temperatura do ar externa</i>	<i>Temperatura do ar interna</i>	<i>Atraso térmico ϕ</i>
Temp. Máxima	29°C/15:30 h	26.6°C/15:30 h	-
Temp. Mínima	13.7°C/6:30 h	19°C/7:00 h	-
A (°C)	15.3°C	7.6°C

Figura 87. Gráfico das curvas das temperaturas interna e externa do ar no dia representativo, a temperatura máxima externa foi de 29°C e temperatura máxima interna de 26.6°C, as duas ocorreram às 15:30 horas.

Na figura 88, observa-se a diferença das temperaturas do ar interior (tar-int) e temperatura do ar exterior no decorrer do dia representativo. No período noturno (período das 17:30 às 7:30 horas), a temperatura interior do ar (tar-int) foi maior que a temperatura exterior do ar. Durante o dia (período às 7:30 às 17:30), a temperatura interior do ar (tar-int) foi menor que a temperatura exterior do ar (tar-ext).

Figura 88. Gráfico da diferença entre a temperatura exterior do ar (tar-int) e a temperatura exterior do ar, no decorrer do dia. No período das 17:30 às 7:30 horas a temperatura de ar interior (tar-int) foi maior que a temperatura de ar exterior (tar-ext). No período das 7:30 às 17:30 a temperatura do ar interior (tar-int) foi menor que a temperatura do ar exterior (tar-ext).

5.5. Discussão dos Resultados Obtidos

Na continuação são comparados e discutidos os resultados obtidos nas células de teste e no protótipo (kit Paliteiro) no dia representativo.

5.5.1. Temperaturas superficiais inferiores das telhas

Temperaturas Superficiais: como se observa na figura 90, a telha que registrou o maior valor das temperaturas superficiais interiores das telhas, foi a de fibrocimento com 52.2°C. A telha cerâmica teve o valor máximo de temperatura de 45°C.

As duas células com telha e o protótipo (kit Paliteiro) com telhas Ibaplac registraram os menores valores de temperaturas superficiais inferiores das telhas, tendo entre estes uma diferença dos valores máximos de temperatura que não superou o valor de 2.3°C.

A célula com telha Ibaplac com forro de madeira obteve o menor valor de temperatura de 40°C, sendo que dentre as telhas analisadas foi a que registrou o melhor comportamento ao calor, apresentando uma diferença de 12.2 °C a menos em comparação com a telha de fibrocimento que foi a que registrou a maior temperatura.

Atraso térmico: todas as telhas estudadas utilizadas nas células de teste apresentaram os maiores valores das temperaturas superficiais no mesmo horário (12:00 horas), em que a radiação solar global registrou seu máximo valor de 800 W/m². O protótipo (kit paliteiro) apresentou sua maior temperatura às 14:30 horas, apresentando um atraso térmico de 2:30 horas em comparação com os valores observados nas células teste.

Amplitude Térmica: na figura, 90 e na síntese dos valores das temperaturas superficiais da tabela 16, pode-se observar que a telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica foi que registrou o valor máximo de temperatura superficial inferior, e foi também a que apresentou a maior amplitude térmica de 41.2°C, e que a célula com cobertura de telha Ibaplac com forro

de madeira registrou o menor valor de temperatura superficial interior, foi a que apresentou a menor amplitude térmica de 29°C.

Figura 90. Gráfico que ilustra os valores horários das temperaturas superficiais internas tomadas das telhas utilizadas nas células de teste e no protótipo (kit paliteiro).

Na tabela 16 encontra-se a síntese dos valores das temperaturas superficiais máximas e mínimas das telhas analisadas, o horário em que se registraram e a amplitude térmica, sendo que a número 1 corresponde à cobertura com o maior valor de temperatura superficial e o número 5 corresponde à cobertura com o menor valor de temperatura superficial.

Tabela 16. Síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas superficiais das telhas das células de teste e do protótipo (kit paliteiro).

No.	Sistema de cobertura	Temperatura Superficial Interior das Telhas (°C)		Amplitude Térmica (A) (°C)	Hora da temperatura superficial máxima
		t máx	t mín		
1	Telha Fibrocimento-Laje Cerâmica	52.2°C	11°C	41.2°C	12:00
2	Telha Cerâmica-Laje Cerâmica	45.2°C	13.8°C	31.4°C	12:00
3	Telha Ibaplac-Forro Ibaplac (Protótipo kit paliteiro)	42.3°C	16.4°C	25.9°C	14:30
4	Telha Ibaplac-Laje Cerâmica	41.5°C	11°C	30.5°C	12:00
5	Telha Ibaplac-Forro madeira	40°C	11°C	29°C	12:00

Pela comparação e análise dos resultados obtidos e com as características dos valores das temperaturas superficiais internas das telhas utilizadas, se considera que a que apresentou o melhor comportamento térmico ao calor foi a telha Ibaplac, já que apresentou a menor temperatura superficial interna. Isso significa que é a que tem o menor ganho de calor pela radiação solar, a que transmite menor quantidade de calor ao interior da edificação e a que apresentou a menor amplitude térmica não só registrando o menor valor de temperatura durante o dia (menor ganho de calor) como também registrando maiores valores de temperatura na noite (menor perda de calor). Em comparação com as outras telhas, o atraso térmico foi o mesmo que o apresentado nos outros casos, isto é, pela forte influência da radiação sobre este tipo de telhas.

O protótipo apresentou um atraso térmico maior registrando a temperatura máxima superficial 2 horas 30 minutos depois, mas este valor de temperatura superficial pode ter sido influenciado pela incidência de sombras provocadas por árvores e prédios localizados nas cercanias do protótipo (kit paliteiro)

5.5.2. Temperaturas do ar no ático

Temperaturas do ar: como se observa na figura 91, a célula com cobertura de telha de fibrocimento com laje cerâmica foi a que apresentou o máximo valor de temperatura do ar de 35.6°C, superando somente com uma diferença de 0.3°C sobre o valor máximo da temperatura de ar da cobertura de telha Ibaplac com forro Ibaplac (Protótipo kit paliteiro), que registrou 35.3°C.

As células com cobertura de telha Ibaplac com forro de Madeira, telha Ibaplac com forro laje cerâmica e telha Cerâmica-Laje Cerâmica tiveram um comportamento similar, não registrando uma variação dos valores máximos de temperatura de ar maior a 1°C entre elas. O sistema de cobertura que registrou o menor valor de temperatura do ar no ático foi a telha cerâmica com forro de laje cerâmica.

Atraso térmico :das células como os sistemas de cobertura de: fibrocimento com forro de laje cerâmica e telha Ibaplac com forro de madeira atingiram os valores máximos de temperatura do ar às 13:00 horas. As células com os sistemas de cobertura de telha Ibaplac com forro de laje cerâmica e telha cerâmica com forro de laje cerâmica atingiram os valores máximos às 13:30 horas pelo que são as que apresentaram maior atraso térmico.

O registro do valor máximo da temperatura do ar no ático da cobertura de telha Ibaplac com forro Ibaplac (protótipo kit paliteiro) foi registrado às 15:00 horas, que em comparação com as coberturas utilizadas nas células de teste, foi o que registrou um atraso térmico de 1 hora 30 minutos maior que células de teste.

Amplitude térmica: a célula com cobertura de telha de fibrocimento e forro de laje cerâmica além de ter apresentado o maior valor de temperatura do ar no ático, é também o que tem a maior amplitude térmica de 23.7°C. Isto se repete nos valores dos demais sistemas de cobertura, isso quer dizer que entre maior e o valor de temperatura do ar no ático do sistema de cobertura, maior é amplitude térmica que apresenta, sendo a célula com cobertura de telha

cerâmica com forro de laje cerâmica a que apresentou a menor amplitude térmica com valor de 16.8°C como pode-se observar na tabela 17.

Figura 91. Gráfico que ilustra os valores horários das temperaturas do ar registradas nos áticos das quatro células e do protótipo (kit paliteiro) no dia representativo.

Na tabela 17 encontra-se a síntese dos valores das temperaturas máximas e mínimas do ar dos áticos das quatro células de teste e do protótipo (kit paliteiro). Dos valores das temperaturas do ar no ático o número 1 corresponde ao valor máximo de temperatura que no caso foi da telha cerâmica com forro de laje cerâmica e o número 5 corresponde ao menor valor de temperatura do ar que neste caso foi a célula com telha cerâmica e forro de laje cerâmica.

Tabela 17. Síntese dos valores das temperaturas máximas e mínimas do ar no ático registradas nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro).

No.	Sistema de cobertura	Temperatura do ar dos aticos (°C)		Amplitude Térmica (°C)	Hora da temperatura do ar ático máxima
		t máx	t mín		
1	Telha Fibrocimento-Laje Cerâmica	35.6 °C	11.9 °C	23.7 °C	13:00
2	Telha Ibaplaç-Forro Ibaplaç (Protótipo kit paliteiro)	35.3 °C	16.3 °C	18.7 °C	15:00
3	Telha Ibaplaç-Forro madeira	31 °C	12.3 °C	18.7 °C	13:00
4	Telha Ibaplaç-Laje Cerâmica	29.4 °C	12.5 °C	16.9 °C	13:30
5	Telha Cerâmica-Laje Cerâmica	29.1 °C	12.3 °C	16.8 °C	13:30

Dos sistemas de cobertura analisados, no caso das temperaturas do ático registradas nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro), o que apresentou o menor valor de temperatura do ar no ático, foi a cobertura de telha cerâmica com forro de laje cerâmica. Esta é a telha que está irradiando menor quantidade de calor ao interior e também foi a que apresentou o menor valor de amplitude térmica, registrando valores menores de temperatura no dia (menor ganho de calor) e maiores valores de temperatura durante a noite (menor perda de calor), o que provoca uma menor diferença entre o valor máximo e mínimo da temperatura superficial. Isto representa que está apresentando um comportamento adequado, e das células estudadas foi a que registrou também o maior atraso térmico, retardando o aumento das temperaturas no ambiente interno, e pelas características mencionadas, a cobertura que teve o melhor comportamento térmico foi a de telha cerâmica com forro de laje cerâmica.

Cabe mencionar que a diferença dos valores das temperaturas máximas e mínimas, da amplitude térmica das células de teste com cobertura de telha cerâmica com forro de laje cerâmica e a célula com cobertura de telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica não foi maior a 0.3°C e apresentaram o mesmo atraso térmico.

5.5.3. Temperaturas superficiais superiores do Forro

Temperaturas superficiais: na figura 92, observam-se os horários dos valores das temperaturas superficiais superiores dos forros. Das células de teste, a que registrou o maior valor de temperatura superficial foi a que tem cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica com 32°C. A célula com cobertura de telha Ibaplaç com forro de madeira registrou o valor máximo de temperatura de 29°C, a célula com cobertura de telha cerâmica com forro de laje cerâmica apresentou o valor máximo de temperatura de 26.3°C. A célula que apresentou o melhor comportamento, registrando o menor valor de temperatura superficial do forro superior dos casos analisados foi a célula com telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica com 26.3°C.

O protótipo (kit paliteiro) com cobertura de telha Ibaplaç com forro Ibaplaç, foi o que teve a temperatura mais elevada com 34.9°C sendo 2.9°C superior ao valor da temperatura superficial superior do forro da célula com telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica que foi a que apresentou a maior temperatura das células de teste. Na figura 92, também pode-se perceber que a curva que representa os horários dos valores máximos da temperatura superficial superior do forro apresenta valores mais elevados dos registrados pelas células de teste.

Atraso Térmico: o protótipo (kit paliteiro) com cobertura de telha Ibaplaç com forro Ibaplaç e a célula de teste com cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica, atingiram seus valores máximos de temperatura às 14:30 horas; as células com cobertura de telha Ibaplaç com forro de madeira, e telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica, atingiram o valor máximo às 15:00 horas enquanto que a célula com cobertura de telha cerâmica com forro de laje cerâmica foi a que apresentou o maior atraso térmico nas temperaturas superficiais dos forros, registrando seu valor máximo às 15:30 horas.

Amplitude Térmica: nas células de teste, a célula que tem cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica apresentou a maior temperatura máxima e também registrou a maior amplitude térmica de 18.5°C, e a célula com cobertura de telha Ibaplac com forro de laje cerâmica registrou o menor valor de temperatura superficial do forro, também foi a que apresentou o menor valor de amplitude térmica de 10.4°C.

No caso do protótipo (kit paliteiro) com cobertura de telhas Ibaplac com forro Ibaplac, registrou o maior valor de temperatura superficial de 34.9°C, mas não teve um atraso térmico ao registrado nas coberturas utilizadas nas células de teste, registrando uma amplitude de 17.8°C.

Figura 92. Gráfico ilustrando os valores horários das temperaturas superficiais superiores dos forros registrados nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro) no dia representativo.

Na tabela 18, têm-se a síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas superficiais superiores dos forros analisados. O número 1 corresponde a célula com cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica que foi o que apresentou os valores máximos de temperatura, o número 5 corresponde a célula com telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica que foi a que registrou o menor valor de temperatura superficial superior do forro pelo que se considera que é a de melhor comportamento das temperaturas superficiais superiores dos forros analisados.

Tabela 18. Síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas superficiais superiores dos forros das células de teste e do protótipo.

No.	Sistema de cobertura	Temperatura superficial superior forro (°C)		Amplitude Térmica (°C)	Hora da temperatura superficial máxima
		t máx	t mín		
1	Telha Ibaplaç-Forro Ibaplaç (Protótipo kit paliteiro)	34.9 °C	17.1 °C	17.8 °C	14:30
2	Telha Fibrocimento-Laje Cerâmica	32 °C	13.5 °C	18.5 °C	14:30
3	Telha Ibaplaç-Forro madeira	29 °C	13 °C	16 °C	15:00
4	Telha Cerâmica-Laje Cerâmica	26.3 °C	13.8 °C	15.5 °C	15:30
5	Telha Ibaplaç-Laje Cerâmica	24.6 °C	14.2 °C	10.4 °C	15:00

Das temperaturas superficiais superiores do forro, a que apresentou o menor valor de temperatura interna foi a célula com cobertura de telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica, pois é o forro que ganhou menor quantidade de calor por radiação e convecção, e também o que apresentou a menor amplitude térmica, registrando menores valores de temperatura no dia (menor ganho de calor) e maiores valores de temperatura na noite (perda de calor), apresentando uma menor diferença entre a temperatura máxima e mínima da temperatura superficial. Por essas características se considera que a cobertura de telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica foi a que apresentou o melhor comportamento térmico.

No caso do atraso térmico, foi a célula com cobertura de telha cerâmica com forro de laje cerâmica que registrou um atraso térmico 30 minutos maior que a célula com cobertura de telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica.

5.5.4 Temperaturas superficiais inferiores do Forro

Temperaturas Superficiais: pode-se observar na figura 93, que das células de teste a que tem cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica apresentou o máximo valor de temperatura superficial interior do forro, de 28.2°C. A célula com cobertura de telha Ibaplaç com forro de madeira registrou o valor máximo de temperatura superficial de 28°C e a célula com cobertura de telha cerâmica com forro de laje cerâmica atingiu o valor de 25.3 °C. A célula com cobertura de telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica foi a que teve o melhor comportamento apresentando a menor temperatura que foi de 24.3°C, registrando 3.9°C a menos que o máximo valor de temperatura registrado nas células de teste

O protótipo (kit paliteiro) com cobertura de telha Ibaplaç com forro Ibaplaç registrou o valor máximo de temperatura superficial interior do forro de 32°C, superando os máximos valores das temperaturas superficiais interiores dos forros registrados nas células de teste.

Atraso Térmico: a célula com cobertura de telha Ibaplaç com forro de madeira apresentou seu máximo valor às 15:30; a célula com cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica registrou seu máximo valor às 16:00 horas e a célula com cobertura de telha Ibaplaç e forro de laje cerâmica apresentou seu máximo valor às 16:30 horas. A célula que apresentou maior atraso térmico nas temperaturas superficiais interiores do forro foi a que tem cobertura de telha cerâmica e forro de laje cerâmica registrando seu máximo valor às 17:00 horas.

No caso do protótipo (kit paliteiro) com cobertura de telha Ibaplaç com forro de Ibaplaç, atingiu seu valor máximo de temperatura às 14:30 horas, isto foi 30 minutos antes que o valor horário registrado na célula que apresentou o menor atraso térmico.

Amplitude Térmica: nas células de teste na que se observou uma maior amplitude térmica (A) foi a que também apresentou o maior valor das temperaturas superficiais das células, que no caso é a que tem cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica com uma amplitude térmica de 14.2°C. A célula de teste que registrou a menor amplitude térmica foi a que apresentou também a menor temperatura superficial inferior do forro que foi a célula com cobertura de telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica com amplitude térmica de 9.7°C.

O protótipo (kit paliteiro) com cobertura de telha Ibaplaç com forro Ibaplaç foi o que teve o valor da temperatura mais elevada superando os valores de temperaturas superficiais registrados nas células de teste, apresentando uma amplitude térmica (A), de 13.8°C. Esta amplitude é menor que as registradas nas células com coberturas de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica e com telha Ibaplaç com forro de madeira.

Figura 93. Gráfico ilustrando os valores horários das temperaturas superficiais inferiores dos forros utilizados nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro) no dia representativo.

Na tabela 19, encontram-se a síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas superficiais interiores máximas registradas nos forros utilizados nas quatro células de teste e no protótipo. Na numeração localizada na parte esquerda da tabela, o número 1 corresponde a cobertura que apresentou o maior valor de temperatura superficial interior do forro que no caso foi a que tem telhas Ibaplac com forro de Ibaplac (protótipo kit paliteiro). O número 5 corresponde a cobertura com o menor valor de temperatura superficial registrada que é a que apresentou o melhor comportamento dos forros analisados que neste caso é a que tem telha Ibaplac com forro de laje cerâmica.

Tabela 19. Síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas superficiais inferiores dos forros utilizados nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro).

No.	Sistema de cobertura	Temperatura superficial inferior forro (°C)		Amplitude Térmica (°C)	Hora da temperatura superficial máxima
		t máx	t mín		
1	Telha Ibaplaç-Forro Ibaplaç (Protótipo kit paliteiro)	32 °C	18.4 °C	13.8 °C	14:30
2	Telha Fibrocimento-Laje Cerâmica	28.2 °C	14 °C	14.2 °C	16:00
3	Telha Ibaplaç-Forro madeira	28 °C	14 °C	14 °C	15:30
4	Telha Cerâmica-Laje Cerâmica	25.3 °C	14.5 °C	10.8 °C	17:00
5	Telha Ibaplaç-Laje Cerâmica	24.3 °C	14.6 °C	9.7 °C	16:30

Das temperaturas superficiais internas do forro, a cobertura que apresentou o menor valor de temperatura superficial foi a telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica, o que significa que é a que teve a menor ganho de calor em forma de radiação e convecção e também foi a que teve a menor amplitude térmica, apresentando a menor diferença entre os valores máximos e mínimos da temperatura superficial, registrando valores menores de temperatura durante o dia (menor ganho de calor) e apresentando maiores valores de temperatura durante a noite (menor perda de calor). Em comparação com as outras células de teste e ao protótipo (kit paliteiro) também foi a que apresentou o maior atraso térmico tendo uma melhor reação ao regime de transmissão de calor registrado no dia representativo, e por essas características se considera que é a cobertura que apresentou o melhor comportamento térmico das temperaturas superficiais inferiores do forro analisadas.

5.5.5 Temperatura interna do ar

Temperaturas do ar: como se observa na figura 94, das células de teste, a que tem cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica que registrou o maior valor de temperatura de 26°C. As células com cobertura de telha cerâmica com laje cerâmica e com telha Ibaplaç com forro de madeira apresentaram o valor máximo de temperatura interna do ar de 25°C e a que apresentou o menor valor de temperatura pelo que se considera a de melhor

comportamento foi a célula com cobertura de telha Ibaplac com forro de laje cerâmica com 24.3°C.

O protótipo (kit paliteiro) com telha Ibaplac com forro Ibaplac foi o que registrou os horários dos valores das temperaturas mais elevados no transcurso do dia representativo. O valor máximo de temperatura do ar registrado no protótipo foi de 26.6°C, superando por 0.6°C o máximo valor de temperatura apresentado nas coberturas utilizadas nas células de teste.

Atraso Térmico: das coberturas utilizadas nas células de teste, a de telha Ibaplac com forro de madeira foi a que apresentou seu máximo valor às 16:00 horas, porém foi a que teve menor atraso térmico das células. As células com coberturas de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica, telha cerâmica com forro de laje cerâmica, telha Ibaplac com forro de laje cerâmica registraram os máximos valores de temperatura interna do ar às 16:30 horas apresentando o mesmo atraso térmico.

O protótipo (kit paliteiro) com telha Ibaplac com forro Ibaplac, apresentou seu máximo valor de temperatura interna do ar às 15:30 horas, 30 minutos antes que o apresentado pela célula com menor atraso, que no caso foi a que tem telha Ibaplac com forro de madeira.

Amplitude Térmica: nas células de teste, a que registrou a maior amplitude térmica (A) de 11.6°C foi a que tem cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica, que também foi a que também apresentou o maior valor de temperatura interna do ar em comparação as outras células de teste. A célula que registrou a menor amplitude térmica (A) de 9.8°C, também foi a que apresentou o menor valor de temperatura interna do ar, que é a célula com cobertura de telhas Ibaplac com forro de laje cerâmica.

No caso do protótipo (kit paliteiro), com cobertura de telha Ibaplac com forro Ibaplac, foi o que apresentou a maior temperatura interna do ar, e a menor amplitude térmica com 7.6°C, tendo 2.2°C a menos que o menor valor de amplitude térmica (A) registrado nas células de teste, que no caso foi a que tem cobertura de telha Ibaplac com forro de laje cerâmica.

Figura 94. Gráfico com os valores horários das temperaturas internas do ar registradas nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro) no dia representativo.

Na tabela 20, encontram-se a síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas internas do ar, registradas nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro) no dia representativo. Na parte esquerda da tabela tem a numeração onde o numero 1 corresponde a cobertura com o valor da temperatura interna do ar mais elevada e o número 5 corresponde a cobertura que apresentou o menor valor de temperatura interna do ar.

Tabela 20. Síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas do ar registradas no protótipo e nas células de teste.

No.	Sistema de cobertura	Temperatura ar interior (°C)		Amplitude Térmica (°C)	Hora da temperatura do ar interno máxima
		t máx	t mín		
1	Telha Ibaplaç-Forro Ibaplaç (Protótipo kit paliteiro)	26.6 °C	19 °C	7.6 °C	15:30
2	Telha Fibrocimento-Laje Cerâmica	26 °C	14.4 °C	11.6 °C	16:30
3	Telha Cerâmica-Laje Cerâmica	25 °C	14.4 °C	10.6 °C	16:30
4	Telha Ibaplaç-Forro madeira	25 °C	14 °C	11 °C	16:00
5	Telha Ibaplaç-Laje Cerâmica	24.3 °C	14.5 °C	9.8 °C	16:30

Das células de teste, a que apresentou os menores valores das temperaturas internas do ar foi a que tem cobertura de telhas Ibaplaç com forro de laje cerâmica, que foi também a que apresentou a menor amplitude térmica, durante o dia é a que registrou o menor ganho de temperatura interna do ar (menor ganho de calor), e durante a noite é a que registrou maiores valores de temperatura do ar (menor perda de calor). Também foi a célula que apresentou o maior atraso térmico, retardando o aumento do valor das temperaturas no ambiente interno. Pelas características analisadas se considera que a cobertura que apresentou melhor comportamento térmico foi a de telha Ibaplaç com forro de laje cerâmica.

A célula com cobertura de telha com forro de madeira apresentou pouca diferença nos valores mínimos e máximos das temperaturas, na amplitude térmica e no atraso térmico.

6. CONCLUSÕES

Sumário e avaliação do trabalho realizado

No desenvolvimento da pesquisa se teve como objetivo principal a análise experimental do comportamento térmico das telhas Ibaplac em comparação com as telhas convencionais como: as telhas cerâmicas e as telhas de fibrocimento, que são as mais utilizadas na cidade de São Carlos.

Foi realizado um estágio na empresa Ibaplac, para conhecer o processo da fabricação das telhas onduladas da Ibaplac, coletando informação como: a matéria-prima e sua origem, o acompanhamento do processo completo, desde a chegada do material até o produto final fazendo uma descrição detalhada dos dados obtidos e do observado durante o período de estágio.

Para a análise térmica das telhas utilizadas, estas foram constituídas com diferentes forros como: laje cerâmica, madeira e Ibaplac. As telhas e os forros foram instalados em quatro células de teste e em um protótipo (kit paliteiro) ocupado. Também foram instalados sensores para registrar as temperaturas interiores superficiais e do ar, sendo que os dados foram coletados por um sistema automático de aquisição de dado Datalogger CR10X da Campbell Scientific Inc.

Realizou-se o monitoramento automático das temperaturas das células de teste e do protótipo durante o período experimental compreendido nas estações de outono-inverno. Conjuntamente com as medições realizadas nas quatro células de teste e no protótipo (kit paliteiro) foram acompanhados os estados atmosféricos que ocorreram na zona de estudo, para posteriormente por meio de gráficos e fotos de satélite GOES ser possível a definição do período representativo e do dia representativo de excepcional calor.

Foram feitos gráficos dos valores das temperaturas interiores superficiais e do ar para a análise individual das quatro células e do protótipo. Posteriormente foi feita a comparação dos valores registrados divididos da seguinte forma: temperaturas superficiais internas das telhas, temperaturas internas do ar no ático, temperaturas superficiais superiores dos forros, temperaturas superficiais internas dos forros e temperaturas internas do ar. Primeiro foram analisados os valores das quatro células de teste e do protótipo (kit paliteiro) de forma individual, posteriormente foram analisadas conjuntamente.

No protótipo ocupado (kit paliteiro) onde também foram utilizadas as telhas Ibaplaç, foram feitas medições das temperaturas, e os valores obtidos foram comparados com os valores das temperaturas das quatro células de teste verificando as variações das curvas dos valores horários das temperaturas superficiais e do ar.

Os objetivos gerais e específicos propostos foram atingidos satisfatoriamente levantando as seguintes observações:

- As telhas analisadas: Ibaplaç, cerâmica, fibrocimento.

Das três telhas utilizadas nas células de teste e no protótipo, as que apresentaram o melhor comportamento térmico, tomando como parâmetros as temperaturas superficiais e a amplitude térmica foram as telhas Ibaplaç. Registraram valores de temperatura superficiais interiores menores em até 12.2°C em comparação com a telha de fibrocimento que foi a que apresentou o maior valor de temperatura superficial.

No protótipo (kit paliteiro) onde foi aplicada a telha ondulada com alumínio refletor na face externa Ibaplaç com forro reciclado de resíduos de papel com alumínio e plástico, também apresentou um valor de temperatura de 9.9°C menor que o valor de temperatura superficial apresentada pela telha de fibrocimento.

A telha cerâmica apresentou valores de temperaturas superficiais intermediários em comparação com as telhas Ibaplaç e as telhas de fibrocimento. A telha de fibrocimento foi a que apresentou os maiores valores de temperatura superficial e a maior amplitude térmica e também foi a que registrou o comportamento térmico menos adequado das três telhas analisadas. É importante salientar que as três telhas analisadas não apresentaram atrasos térmicos significativos nas suas temperaturas superficiais inferiores.

- Temperaturas do ar do ático

Nas temperaturas do ar registradas no ático, a célula de teste que registrou o melhor comportamento foi a que tem cobertura de telha cerâmica com forro de laje cerâmica. Isso porque apresentou temperaturas internas do ar no ático menores em até 6.5°C que os valores registrados nas demais coberturas analisadas e também registrou uma menor amplitude térmica. A que apresentou o comportamento menos adequado por ter apresentado maiores valores de temperatura do ar no ático, maior amplitude térmica e o menor atraso térmico foi a célula com cobertura de telha de fibrocimento com laje cerâmica.

O protótipo com cobertura de telha Ibaplaç com forro Ibaplaç apresentou valores de temperatura interna do ar no ático até 6.2°C maiores que os registrados na célula com cobertura de telhas Ibaplaç com forro de laje cerâmica. Também apresentou uma maior amplitude térmica, mas registrou um atraso térmico até de 2 horas maior que o apresentado nas células de teste.

- Os forros utilizados: madeira, laje cerâmica e Ibaplaç.

Das temperaturas superficiais dos forros tomadas na parte superior e inferior, registradas nas células de teste, a que tem cobertura de telhas Ibaplaç com forro de laje cerâmica foi a que apresentou o melhor comportamento por ter registrado menores valores superficiais superiores de temperatura do forro de até 7.4°C menor e de até 3.9°C a menos no valor superficial da temperatura interior do forro, que os valores registrados na célula com

telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica. Esta célula (telha de fibrocimento com forro de laje cerâmica) foi a que apresentou o comportamento térmico menos adequado por ter registrado os maiores valores de temperaturas superficiais, maior amplitude térmica e o menor atraso térmico. As células com sistemas de cobertura de telhas Ibaplac com forro de madeira e telhas cerâmicas com forro de laje cerâmica apresentaram valores de temperatura intermediários aos dois casos mencionados.

No caso do protótipo o comportamento térmico do forro foi bastante diferenciado das células de teste, apresentando até 10.4°C a mais nas temperaturas superficiais superiores dos forros e de até 7.7°C a mais que os valores das temperaturas registrados na superfície interior do forro da célula de teste com cobertura Ibaplac com forro de laje cerâmica.

- As temperaturas internas do ar

Nas temperaturas internas de ar, a célula de teste com cobertura de telhas Ibapalc com forro de laje cerâmica foi a que apresentou menor amplitude térmica, registrando um atraso térmico 1 hora maior e o valor de temperatura interna do ar 1.7°C menor quando comparada a célula com cobertura de telha de fibrocimento. Esta, por sua vez, registrou o maior valor de temperatura do ar e maior amplitude térmica, e assim, a que apresentou o comportamento térmico menos adequado.

No protótipo a temperatura interna do ar foi 2.3°C maior que os valores de temperatura apresentados nas células de teste, registrando o menor atraso térmico, mas apresentado menor amplitude térmica que as coberturas analisadas nas células de teste.

Uma característica observada nas coberturas analisadas é que a maior diferença dos valores de temperatura foi nas temperaturas superficiais das telhas, registrando diferenças de mais de 12°C entre os valores registrados das temperaturas das telhas analisadas. Entretanto, a diferença das temperaturas internas do ar não supera os 2.3°C pois as coberturas analisadas registraram um comportamento muito similar.

A cobertura aplicada no protótipo (kit paliteiro) a qual está composta por telhas Ibaplac e forro Ibaplac pode ser aprimorada colocando uma folha de alumínio sob a face superior do forro, sendo que as telhas onduladas da Ibaplac tem recobrimento de alumínio na face exterior, o que em conjunto melhoraria o comportamento térmico.

Os elementos de cobertura com telhas Ibaplac utilizados com forro de madeira e forro Ibaplac, podem ser adotados como soluções aceitáveis nos aspectos de comportamento térmico nas edificações, se disponibilizando como uma solução de menor custo que a utilização das telhas de fibrocimento e a telha cerâmica com forro de laje cerâmica. Os forros de madeira e Ibaplac podem ainda ser melhorados como elementos construtivos, por exemplo, incrementando uma folha de alumínio (foil) na superfície superior do forro para funcionar como uma barreira de radiação, o que melhoraria o comportamento térmico. Estes elementos além de ter apresentado bom comportamento térmico contam com vantagens como ser de fácil instalação, menor tempo de instalação o que reduz o gasto de recursos econômicos.

Com as vantagens mencionadas e o comportamento térmico apresentado pelas telhas Ibaplac, sobre as telhas convencionais, aplicados nos sistemas de cobertura demonstra o nível de viabilidade como elemento construtivo alternativo a ser considerado para sua utilização nas edificações.

- Limitações do trabalho

Por erros na operação do equipamento de medições, deslocamento dos sensores instalados nas células de teste e no protótipo (kit paliteiro), foi preciso refazer o experimento três vezes o que provocou um atraso no desenvolvimento da pesquisa.

Outra limitante a pouca existência de material de consulta que se enfoque ao material com o qual são feitas as telhas onduladas da Ibaplac e também as poucas pesquisas realizadas com telhas de caráter reciclado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APOIO FOME ZERO (2005). **Tetra Pak investe em reciclagem e transforma embalagens cartonadas em "telhas longa-vida"**. Disponível em: <http://www.apoiofomezero.org.br/>. Acesso em 04.jun.2006.

ARCHITECTURE 2030 (2006). **Architecture 2030**. Disponível em http://www.architecture2030.org/news/news_2_2006.html. Acesso em 25.mai.2006.

ASHRAE 1997, **Handbook**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1997.

AULICIEMS, A.; SZOLOKAY, S. **Thermal Confort Plea Note 3**. Passive and Low Energy, Architecture Internacional & University of Queensland.1997.

CAMPBELL SCI (2006). **Cambell Scientific Inc**. Disponível em: <http://www.campbellsci.com/index.cfm>. Acesso em 06.jan.2007.

CAPRIA, G. Sistema constructivo en seco: "kit house". **Revista Habitat**. Disponível em: http://www.revistahabitat.com/boletin/numero4/index.html#nota_3. Acesso em 02.jun. 2006.

COMISION EUROPEA- MEDIO AMBIENTE. **El Cambio Climático**. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/climat/campaign/climatechange_es.htm. Acesso em 11.jun.2007.

CONAMA. **Una experiencia de Reciclaje Masivo**. Gobierno de Chile, Comisión Nacional de Medio Ambiente. Disponível em: <http://www.conama.cl/rm/568/article-2272.html>. Acesso em 12.mai.2006.

CPTEC/INPE (2008a). **Glossário**. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/glossario_tecnico/glos_ABC.shtml. Acesso em 10.jan.2008.

CPTEC/INPE (2008b). Imagens do satélite GÓES. **Satélite**. Disponível em: http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp. Acesso em 02.jun.2008.

ECODELTA (1997). **Ecodelta**. Disponível em: <http://www.esodelta.com.ar/teplak/teplak.htm#top>. Acesso em 30.abr.2007.

EMBRAPA. Dados Meteorológicos. Disponível em: <http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/dados-meteorologicos>. Acesso em 08.jun.2008.

EUROSUR (2002). Disponível em: http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif19.htm. Acesso em 15.set.2006.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. Van Nostrand Reinhold, USA, 1998.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London. Elsevier, 1976.

IBAPLAC (2005). **Ibaplac brasil**. Disponível em: <http://www.ibaplac.com.br/>. Acesso em 13.abr.2007.

INCHE M., J.; CHUNG PINZAS, A. R.; CARPIO G., J. del; YENQUE D., J.; RÁEZ G., L.; MAVILA H., D. Diseño y Desarrollo de un Prototipo a partir de envases reciclados. **Industrial data**, v. 6, p. 7-11, 2003.

INE. **Precio de los Materiales Recuperados a Través de la Pepena**, Instituto Nacional de Ecología, p. 5, México, 2002.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorol. Z.**, v. 15, p. 259-263, 2006.

MATHER, John R. **Climatology, Fundamentals and Applications**. New York: McGraw-Hill, 1975.

MÉSZÁRINOS, István. **Para Além do Capital**. São Paulo: Boitempo Editorial, 1987.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **A Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul-Oriental do Brasil (Contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil)**. São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, 1969. (Teses e Monografias, 1).

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Sobre o Índice de Participação das Massas de Ar e suas Possibilidades de Aplicação à Classificação Climática. In: **Revista Geográfica**, Rio de Janeiro, v.33, n. 61, p. 59-69, jul./dez, 1964.

OLGYAY, Victor. **Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. USA: Princeton University, 1963.

ORELLANA, G. (2005). Brasil: Inauguran revolucionaria planta de reciclaje de envases tetabrik. **Paper Market**. Disponível em: <http://www.papermarket.cl/papermarket/site/pags/20050523011432.html>. Acesso em 24.abr.2006.

PEREZ-PLA Maria (2005). Vivir em uma casa Tetra Pak. **El Universal**. Disponível em: http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=37257&tabla=internacional_h. Acesso em 17.nov.2007.

PRIETO, J. (2006). Un Techo Para Chile: Una marca con fuerza. **El Morrocotudo**. Disponível em: <http://www.elmorrocotudo.cl/admin/render/noticia/450>. Acesso em 27.abr.2007.

ROSNAY, Joël de. **O homem simbiótico: perspectivas para o terceiro milênio**. Petrópolis: Vozes, 1997.

SÃO CARLOS OFICIAL. Site da cidade de São Carlos SP. Disponível em: <http://www.saocarlosoficial.com.br/acidade/>. Acesso em 17.mai.2007.

SCHMUTZLER, Luis Otto Faber (2001). **Inventa Brasil Net**. Disponível em: <http://inventabrasilnet.t5.com.br/yquimic.htm>. Acesso em 22.mai.2006.

SOBRAL, H. R. Globalização e Meio Ambiente. **In: Desafios da Globalização**. Petrópolis: Vozes, 1997.

TEOREMA AMBIENTAL (2002). Um embase debe ahorrar más de lo que cuesta. **Ciencia y tecnología**. Disponível em: http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=2001&id_ejemplar=76. Acesso em 17.nov.2007.

TETRA PAK (2002). The History of an Idea. **Tetra Pak International**. Disponível em: www.tetrapak.com/docs/the%20history.pdf. Acesso em 30.mai.2007.

TETRA PAK (2003). **Carton Bebidas**. Disponível em: <http://www.cartonbebidas.com/>. Acesso em 16.jun.2006.

TETRA PAK (2005). Meio Ambiente e Cidadania. **Tetra Pak Brasil**. Disponível em: www.tetrapak.com.br. Acesso em 7.out.2006.

TETRA PAK (2007). **Roof tiles story**. Tetra Pak Soul África. Disponível em: http://www.tetrapak.co.za/recycle/recycle_rooftiles.html. Acesso em 08.jun.2008.

UNEP-IETC, Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries and United Nations Environment. Programme International Environmental Technology Centre. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries**. Pretoria: CIB & UNEP-IETC, 2002.

VECCHIA, F. **Clima e Ambiente Construído**. A abordagem Dinâmica Aplicada ao Conforto Humano (1997). 316f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Departamento de Geografia, São Paulo, SP, 1997.

VECCHIA, F. **Estudo Comparativo Do Comportamento Térmico De Quatro Sistemas De Cobertura**. Um Estudo Experimental Para Reação Frente Ao Calor. ESSC/PROD USP, 2005.

VECCHIA, F.; NOLASCO, G. C. Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas. **Revista Ingeniería**, Mérida, MÉXICO, v. 1, n. 10, p. 17-23, 2006.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. **Revista de Tecnologia da Construção** - Técnica, São Paulo, n.75, p. 66-70, 2003.

WINOGRAD, M. (1995). **Indicadores Ambientales para Latinoamérica y el Caribe: Hacia la sustentabilidad en el uso de tierras**. GASE, Proyecto IICA/GTZ, OEA and WRI. San José, Costa Rica.

YUBA, A. N. Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais. 2005. 227f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

ZUBEN, Fernando Von (2004). **Tetra Pak Brasil Ltda**. Disponível em: http://www.tetrapak.com.br/htmls/busca/index_busca.asp. Acesso em 05.mai.2006.