



**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Patrick Ismael Seibt

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA PREVISÃO DE TEMPERATURA EM  
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES-RS**

Santa Cruz do Sul  
2015

Patrick Ismael Seibt

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA PREVISÃO DE TEMPERATURA EM  
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES-RS**

Trabalho de conclusão apresentado no curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor João Rodrigo Guerreiro Mattos.

Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos  
Professor Orientador – UNISC

M.Sc. Anelise Schmitz  
Professora Examinadora - UNISC

Dr. Klaus Machado Theisen  
Professor Examinador - UFPEL

Santa Cruz do Sul  
2015

**Dedico este trabalho as meus pais Lúcio e Naira, e ao meu irmão Kelvin.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que nos protege para podermos seguir em frente, alcançando todos nossos objetivos planejados.

Agradeço e dedico esta sonhada conquista, aos meus pais Lúcio e Naira, pelo apoio e incentivo moral, por fazer sempre o possível e impossível em todas as etapas da minha vida, por sempre dar o suporte financeiro necessário para eu seguir em frente na minha caminhada profissional, principalmente no período da graduação.

Agradeço ao meu irmão Kelvin por acreditar em mim, pela paciência e por entender a minha ausência durante este período de graduação.

Agradeço ao meu orientador João Rodrigo Guerreiro Mattos, pela escolha do tema deste trabalho, pelos conhecimentos passados, por me apoiar e incentivar nos momentos necessários e principalmente pela paciência com a minha pessoa.

Agradeço ao laboratorista Rafael Vogt, do laboratório de Instrumentação pelo conhecimento passado, pelos materiais emprestados para o levantamento de dados deste estudo e por estar sempre de prontidão para ajudar no que necessário.

Agradeço ao Núcleo de Pesquisa Social (NUPES) da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), juntamente com o estatístico Renato Michel pelo conhecimento passado e auxílio na análise estatística.

Agradeço aos meus colegas e futuros engenheiros, pelo apoio, incentivo, paciência e, conhecimento compartilhado durante a vida acadêmica.

Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante a graduação e que contribuíram ao meu crescimento pessoal e profissional.

*“Aprender é a única coisa que a mente nunca se cansa, não teme e nem se arrepende.”*

(Leonardo da Vinci)

## RESUMO

Os pavimentos flexíveis no Brasil são dimensionados através de métodos no quais não se considera uma importante característica atuante sobre o pavimento constantemente após a sua execução: as condições climáticas da região onde será o mesmo executado. Sabe-se que a performance de um pavimento flexível asfáltico é decorrente das características e composição de suas camadas estruturais, das cargas de tráfego que atuaram sobre ele, dos processos que serão utilizados para realizar as devidas manutenções futuras na sua superfície, com a finalidade manter a sua devida serventia. Neste trabalho, elaborou-se modelos com a finalidade de prever a temperatura de pavimentos flexíveis de revestimento asfáltico no município de Venâncio Aires, localizado no estado do Rio Grande do Sul com um clima temperado subtropical, através do levantamento de dados das temperaturas do ar, da superfície do pavimento e nas profundidades de 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm do revestimento, sendo estes coletados, em dois pontos: um exposto ao sol e o outro na sombra. Confeccionaram-se modelos correlacionando à temperatura do ar com a temperatura das profundidades analisadas e a temperatura na superfície do pavimento com a temperatura das profundidades do revestimento asfáltico (para poder-se levar em consideração a irradiação solar atuando sobre o pavimento). Em seguida com os modelos gerados, compararam-se os mesmos com os da literatura existente, para fins de aplicabilidade deles na região, mais especificamente no neste caso. Após a análise dos dados obtidos neste estudo, pode-se constatar a que é de grande relevância ter-se o conhecimento da correlação da temperatura do ar com a temperatura superficial e interior dos pavimentos asfálticos para fins de dimensioná-los e para utilizar tal informação em levantamentos deflectométricos. Mas temos que lembrar, de que quando se refere à previsão de temperatura em pavimentos por meio de modelos, estes sempre resultaram em equações diferentes as já existentes, pois mesmo analisando várias regiões que estão inseridas no mesmo clima, elas e seus métodos apresentaram características impares uma das outras.

Palavras-chave: Temperatura - pavimentos flexíveis

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1- Gráfico referente à classificação dos estados das rodovias brasileiras em 2014</i> .....	15
<i>Figura 2 - Classificação climática do Brasil segundo Wilhelm Köppen</i> .....	25
<i>Figura 3- Classificação do Clima no território brasileiro segundo IBGE</i> .....	27
<i>Figura 4 - Climas Zonais do Brasil</i> .....	29
<i>Figura 5 - Localização do município estudado</i> .....	30
<i>Figura 6 - Dados dos últimos 30 anos da temperatura e precipitação</i> .....	31
<i>Figura 7 - Mapa Referente à Extensão e Localização da Rodovia ERS-422</i> .....	51
<i>Figura 8 – Localização dos 2 Pontos onde foram coletadas as medições das</i> .....	52
<i>Figura 9 - Perfuração do revestimento asfáltico</i> .....	53
<i>Figura 10 - Ponto 1 (ao sol) com os respectivos furos na rodovia</i> .....	53
<i>Figura 11 - Ponto 2 (na sombra) com os respectivos furos na rodovia</i> .....	54
<i>Figura 12 - Coleta da temperatura na superfície do revestimento do pavimento</i> .....	55
<i>Figura 13 - Coleta da temperatura no revestimento do pavimento a 1 cm de profundidade</i> .....	55
<i>Figura 14 - Coleta da temperatura no revestimento do pavimento a 3 cm de profundidade</i> .....	56
<i>Figura 15 - Coleta da temperatura no revestimento do pavimento a 5 cm de profundidade</i> .....	56
<i>Figura 16 - Coleta da temperatura no revestimento do pavimento a 7 cm de profundidade</i> .....	57
<i>Figura 17 - Termômetro globo e seus componentes</i> .....	58
<i>Figura 18 – Termômetro montado com o globo preto no termômetro 1 e o capilar colocado no termômetro 3</i> .....	58
<i>Figura 19 – Termômetro montado e adicionado água destilada na agulha 3 para levantamento da temperatura real do ar</i> .....	59
<i>Figura 20 – Termômetro montado e instado com o auxílio de um tripé para fins de levantamento</i> .....	59
<i>Figura 21 - Termômetro Tipo Espeto Digital</i> .....	60
<i>Figura 22 - Pirômetro Óptico</i> .....	61
<i>Figura 23 - Termômetro globo digital</i> .....	61

Gráfico 1 - Temperaturas coletadas no ponto 1 em 04 de abril de 2015.....	69
Gráfico 2 - Temperaturas coletadas no ponto 1 em 02 de maio de 2015.....	70
Gráfico 3 - Temperaturas coletadas no ponto 1 em 19 de junho de 2015.....	71
Gráfico 4 - Temperaturas coletadas no ponto 2 em 04 de abril de 2015.....	72
Gráfico 5 - Temperaturas coletadas no ponto 2 em 02 de maio de 2015.....	73
Gráfico 6 - Temperaturas coletadas no ponto 2 em 19 de junho de 2015.....	74
Gráfico 7 - Temperatura do ar em função da temperatura na superfície do pavimento (ao sol) .....	75
Gráfico 8 - Temperatura do ar em função da temperatura a 1 cm de profundidade (ao sol) .....	76
Gráfico 9 - Temperatura do ar em função da temperatura a 3 cm de profundidade (ao sol) .....	77
Gráfico 10 - Temperatura do ar em função da temperatura a 5 cm de profundidade (ao sol) .....	77
Gráfico 11 - Temperatura do AR em função da temperatura a 7 cm de profundidade (ao sol) .....	78
Gráfico 12 - Temperatura do ar em função da temperatura na superfície (na sombra) .....	79
Gráfico 13 - Temperatura do ar em função da temperatura a 1 cm de profundidade (na sombra).....	80
Gráfico 14 - Temperatura do ar versus temperatura a 3 cm de profundidade (na sombra).....	80
Gráfico 15 - Temperatura do ar versus temperatura a 5 cm de profundidade (na sombra).....	81
Gráfico 16 - Temperatura do ar em função da temperatura a 7 cm de profundidade (na sombra).....	82
Gráfico 17 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 1 cm de profundidade (ao sol) .....	84
Gráfico 18 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 3 cm de profundidade (ao sol) .....	85
Gráfico 19 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 5 cm de profundidade (ao sol) .....	85
Gráfico 20 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 7 cm de profundidade (ao sol) .....	86



Gráfico 21 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 1 cm de profundidade (na sombra) .....	87
Gráfico 22 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 3 cm de profundidade (na sombra) .....	88
Gráfico 23 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 5 cm de profundidade (na sombra) .....	88
Gráfico 24 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 7 cm de profundidade (na sombra) .....	89
Gráfico 25 - Comparação entre o modelo desenvolvido pelo SHPR e do município de Venâncio Aires para prever temperaturas máximas no pavimento através da temperatura do ar.....	99
Gráfico 26 - Comparação entre o modelo desenvolvido pelo SHPR e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever temperaturas mínimas no pavimento através da temperatura do ar.....	100
Gráfico 27 - Comparação entre o modelo desenvolvido pelo Barker et al. (1977) e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever temperaturas máximas no pavimento através da temperatura do ar .....	101
Gráfico 28 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Motta (1991) e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima no pavimento através da temperatura do ar.....	102
Gráfico 29 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Ijuí e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima na superfície do pavimento através da temperatura do ar..	103
Gráfico 30 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Sobradinho e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima na superfície do pavimento através da temperatura do ar.....	104
Gráfico 31 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Ijuí e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura mínima na superfície do pavimento através da temperatura do ar ..	105
Gráfico 32 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Sobradinho e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura mínima na superfície do pavimento através da temperatura do ar.....	106

<i>Gráfico 33 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Ijuí e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento.....</i>	<i>107</i>
<i>Gráfico 34 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Sobradinho e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento.....</i>	<i>108</i>
<i>Gráfico 35 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Ijuí e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura mínima a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento.....</i>	<i>109</i>
<i>Gráfico 36 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Sobradinho e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura mínima a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento.....</i>	<i>110</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Classificação do clima segundo de Wilhelm Köpper.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 2 - Coleta de Temperaturas no Ponto 1 em 04 de abril de 2015.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 3 - Coleta de Temperaturas no Ponto 1 em 02 de maio de 2015.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 4 - Coleta de Temperaturas no Ponto 1 em 19 de junho de 2015.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 5 - Coleta de Temperaturas no Ponto 2 em 04 de abril de 2015.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 6 - Coleta de Temperaturas no Ponto 2 em 02 de maio de 2015.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 7 - Coleta de temperaturas no ponto 2 em 19 de junho de 2015 .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 8 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura do ar e a temperatura da superfície .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 9 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura do ar e a temperatura da superfície .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 10 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura superficial.</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 11 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura superficial .</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 12 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura do ar .....</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 13 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura do ar .....</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 14 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura da superfície do pavimento (sem as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm).....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 15 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura da superfície do pavimento (sem as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm).....</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 16 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura do ar (sem as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm) .....</i>	<i>97</i>

*Tabela 17 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura do ar (sem as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm).....97*

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 Área e limitação do tema.....	16
1.2 Justificativa.....	17
1.3 Objetivos .....	18
1.3.1 Objetivo Geral .....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	19
1.4 Estrutura do Trabalho.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	20
2.1 Clima .....	20
2.1.1 O Clima brasileiro .....	21
2.1.2 O Clima do Rio Grande do Sul .....	28
2.1.3 O Clima do município de Venâncio Aires .....	29
2.2 Transmissão de calor .....	31
2.2.1 Transmissão de calor por condução .....	32
2.2.2 Transmissão de calor por convecção .....	32
2.2.3 Transmissão de calor por Irradiação .....	33
2.2.4 A radiação solar e a atmosfera terrestre .....	33
2.3 Pavimentos.....	34
2.3.1 Pavimentos flexíveis.....	35
2.3.2 Ligantes asfálticos .....	36
2.3.3 Revestimento asfáltico .....	37
2.3.4 Concreto Asfáltico (CA) ou Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) .....	38
2.3.5 A ação da temperatura nos pavimentos flexíveis .....	39
2.3.6 A ação da chuva nos pavimentos flexíveis.....	40
2.3.7 Strategic Highway Research Program - SHRP .....	41
2.3.8 Modelos desenvolvidos para a previsão de temperatura .....	42
3 METODOLOGIA.....	50
3.1 Rodovia ERS-422.....	50
3.2 Coleta de dados .....	51
3.3 Materiais utilizados.....	60
3.5 Pós-coleta de dados.....	62

4 DADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	68
4.1 Análises do comportamento térmico das camadas asfálticas ao decorrer do dia.....	68
4.2 Modelos de temperatura do pavimento em função temperatura do ar .....	74
4.2.1 Temperatura Máxima .....	75
4.3.1 Temperatura máxima .....	83
4.3.2 Temperatura mínima .....	86
4.4.1 Modelo geral final .....	95
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	113
APÊNDICE A – COLETA DE TEMPERATURAS NO PONTO 1 (NO SOL) .....	117
APÊNDICE B – COLETA DE TEMPERATURAS NO PONTO 2 (NA SOMBRA) ....	118
APÊNDICE C – INTRODUÇÃO DOS DADOS COLETADOS NO SOFTWARE SPSS PARA OBTENÇÃO DOS MODELOS GERADOS NESTE TRABALHO .....	119
APÊNDICE D – RELATÓRIO SPSS – MODELO GERADO ATRAVÉS DAS VARIÁVEIS: TEMPERATURA SUPERFICIAL DO PAVIMENTO E TEMPERATURA DO AR.....	122
APÊNDICE E – RELATÓRIO SPSS MOSTRANDO A ALTA CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DO AR E A DA SUPERFÍCIE E OS GRÁFICOS GERADOS COM OS DADOS COLETADOS .....	126
APÊNDICE F – RELATÓRIO SPSS REGRESSÃO LINEAR COM MODELO DE PREVISÃO DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA PARA O MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES EM DIFERENTES PROFUNDIDADES ATRAVÉS DA VARIÁVEL TEMPPERATURA SUPPERFICIAL (O cm) .....	131
APÊNDICE G – RELATÓRIO SPSS REGRESSÃO LINEAR COM MODELO DE PREVISÃO DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA PARA O MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES EM DIFERENTES PROFUNDIDADES ATRAVÉS DA VARIÁVEL TEMPPERATURA DO AR.....	135
APÊNDICE H – RELATÓRIO SPSS - COMPARAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS MÉDIAS EM CADA PROFUNDIDADE .....	139
APÊNDICE I – RELATÓRIO SPSS REGRESSÃO LINEAR COM MODELO DE PREVISÃO DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA PARA O MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES ATRAVÉS DA VARIÁVEL TEMPPERATURA SUPERFICIAL DO PAVIMENTO .....	142
APÊNDICE J – RELATÓRIO SPSS REGRESSÃO LINEAR COM MODELO DE PREVISÃO DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA PARA O MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES ATRAVÉS DA VARIÁVEL TEMPPERATURA DO AR .....	145

## 1 INTRODUÇÃO

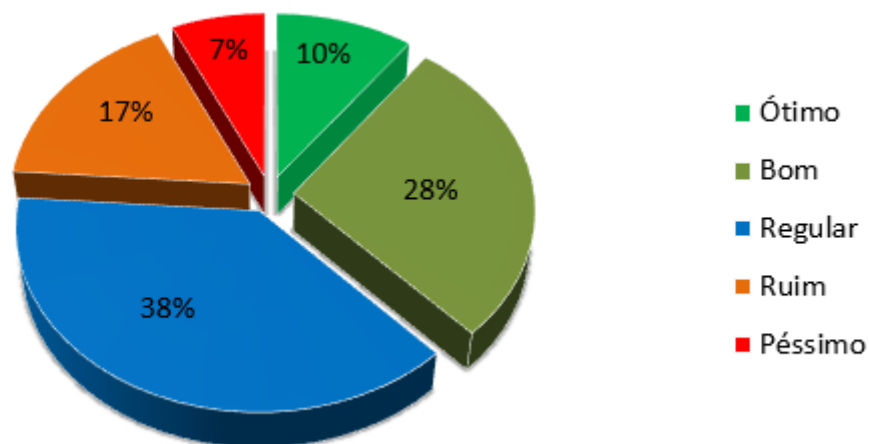
As rodovias brasileiras são responsáveis por transportar 61,1% das cargas e cerca de 90% dos passageiros no Brasil, segundo boletim estatístico referente a fevereiro de 2015 da Confederação Nacional do Transporte (CNT 2015), desta forma, sendo a infraestrutura que apresenta maior impacto para o desenvolvimento econômico do país.

O Brasil dispõe de uma das maiores malhas rodoviárias do planeta, com a extensão de mais de 1,7 milhões de quilômetros de rodovias federais, estaduais e municipais (CNT, 2015).

Segundo Pesquisa CNT de Rodovias 2014 (CNT, 2014), 62,10% dos pavimentos das rodovias brasileiras apresenta algum tipo de deficiência em sua estrutura, dos 98.485 km analisados, sendo estes classificados como regular, ruim ou péssimo. Isto ocorre pela presença de buracos e trincas, afundamentos, ou devido à sinalização e a geometria da via.

Desta forma, deixando a desejar nos quesitos de segurança e conforto aos usuários, que percebem esta ausência em seus bolsos, pois tal fato resulta em manutenções constantes, que conseqüentemente elevam o custo do transporte. A Figura 1 abaixo apresenta a situação da malha rodoviária do país, segundo CTN (2014).

**Figura 1- Gráfico referente à classificação dos estados das rodovias brasileiras em 2014**



Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2014).

O desempenho de um pavimento é influenciado por uma série de fatores, desde o tráfego atuante, o meio ambiente em que o mesmo encontra-se, como suas propriedades físicas e mecânicas das camadas da estrutura que o constitui.

Para que o pavimento apresente um excelente desempenho deve-se levar em conta a sua total dependência as variações de temperatura que tal estrutura suporta diariamente. Vale ressaltar que além do efeito clima (temperatura e umidade), existem outros fatores que colaboram para a rápida degradação nas estruturas dos pavimentos, sendo eles: o volume de tráfego, o peso dos veículos que circulam pela rodovia, a pressão dos pneus sobre a estrutura, e de grande relevância, a qualidade dos materiais utilizados na execução.

O maior obstáculo ao se dimensionar um pavimento é prever a sua real evolução de tráfego, os tipos de veículos e cargas que circularam ao longo do tempo, como também poder mensurar o impacto destas cargas em diferentes formas e níveis de repetição sobre a estrutura. Porém ao se projetar um pavimento deve lembrar que este deve visar a segurança e confortabilidade dos usuários, com manutenções preventivas e durabilidade em qualquer das condições climáticas existentes na região.

A influência dos fatores climáticos já é motivo de estudo, quando se refere a degradação dos pavimentos, com o intuito de auxiliar na escolha do ligante asfáltico, pois com o conhecimento da variação da temperatura, se obterá uma caracterização efetiva para o determinado pavimento a ser executado em determinada região, que desta forma, irá gerar redução de custos e melhor desempenho da obra.

Seguindo está linha de raciocínio, este trabalho tem o intuito de verificar a existência da relação que existe entre a temperatura do pavimento, em suas diferentes profundidades, com a temperatura do ar (ambiente); quais são os parâmetros que apresentam ligação com esta variação e se modelos já desenvolvidos podem ser executados para este caso, no município de Venâncio Aires.

## **1.1 Área e limitação do tema**

Através deste trabalho, na área da pavimentação, idealizar-se-á modelos de correlação da temperatura ambiente com a temperatura do pavimento flexível estudado, sendo este efetuado em diferentes patamares de profundidades, com o



intuito de ampliar o conhecimento sobre a influência do fator temperatura sobre pavimentos flexíveis.

Os dados desta pesquisa foram obtidos no município de Venâncio Aires, localizado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, por onde passa a rodovia ERS-422. Através deste estudo, se promoveu o desenvolvimento de modelos estatísticos e a criação de um banco de dados de temperatura para a região onde está localizada a rodovia analisada.

## **1.2 Justificativa**

No Brasil, as rodovias possuem papel fundamental nos quesitos de mobilidade, desenvolvimento econômico e social, portanto este patrimônio deveria ser preservado de forma melhor. Com as manutenções preventivas, obtem-se redução de acidentes e de perdas de safra por tempo excessivo no transporte, há diminuição do consumo de combustível e do custo de manutenção dos veículos, entre outros aspectos. Atualmente, segundo Boletim da CNT (2015) 14% da malha rodoviária brasileira é pavimentada, da qual, sua maioria absoluta é de revestimento asfáltico. Para KILPP (2004, p 17) “o desempenho de um pavimento é função da atuação conjunta das cargas de tráfego, dos processos de manutenção utilizados, da sua idade e do ambiente em que estiver inserido”.

Porém, a temperatura é o fator de maior relevância dentre os que afetam o projeto e desempenho do pavimento (KILPP, 2004). MOTTA (1991) salienta que o clima e as condições ambientais são elementos que estão diretamente relacionado com a performance de um pavimento.

Mas, no quesito dimensionamento de pavimentos flexíveis, o modelo adotado no país pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) não contempla os fatores ambientais que podem influenciar e intervir na sua estrutura diariamente após a sua execução.

Embora se tenha conhecimento de que o fator climático é um dos fatores que mais degradam os pavimentos no Brasil, os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) não os consideram em seus cálculos. Sabendo-se do alto custo de construção de uma rodovia, possuindo o conhecimento da variação da temperatura do pavimento, pode auxiliar no seu dimensionamento, pela caracterização dos

materiais nas temperaturas adequadas, visando obter pavimentos mais apropriados para as regiões onde serão executados e, conseqüentemente, de maior vida útil. Assim, não haverá necessidade de tantos investimentos para a manutenção das rodovias, pois, no Brasil, há falta de investimentos em diversos setores e o setor de infraestrutura viária é um deles.

Em seu artigo CAMPOS et al. (2004) sustenta que com o monitoramento da temperatura em um determinado pavimento asfáltico, conseguir-se-ia realizar análises térmicas e desenvolvimento de um modelo matemático que correspondesse ao comportamento do mesmo.

Desta forma, teríamos domínio sobre suas características térmicas e realizar-se-ia um adequado dimensionamento dos materiais utilizados na sua construção para cada região, conseguindo produtos de melhor qualidade e rendimento, que automaticamente resultaria em uma vida útil da pavimentação (CAMPOS et al. 2004). Por isso, obtendo a informação da variação térmica do pavimento pode contribuir na escolha de ligantes asfálticos, seus agregados e até a seção estrutural de um pavimento.

Segundo ASPHALT INSTITUTE (1994), consegue-se selecionar ligantes através de seus desempenhos, a partir das temperaturas dos pavimentos e características do clima (ambiente) no local onde tais estruturas serão executadas. Devendo lembrar, que conforme ASPHALT INSTITUTE (1994), MCMILLAN et al. (1999) e KILPP (2004) as propriedades físicas, como no caso da rigidez, é invariável para todos os ligantes, pois o que distingue os ligantes é a temperaturas máxima e mínima em que suas propriedades físicas são aceitas no pavimento.

### **1.3 Objetivos**

Apresentam-se a seguir os objetivos propostos para o estudo em questão, subdividindo-os em objetivo geral e objetivos específicos.

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Este estudo apresenta como objetivo a confecção de modelos de correlação da temperatura do ar com a temperatura do pavimento em suas diferentes

profundidades, em duas condições: exposta ao sol e à sombra. Este levantamento será realizado na mesorregião do Centro Oriental estado do Rio Grande do Sul, no município de Venâncio Aires.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Este trabalho apresenta como objetivos específicos, os seguintes itens:

- ✓ Fazer um levantamento de modelos já apresentados na literatura;
- ✓ Verificar se há diferença na variação da temperatura do pavimento em locais expostos ao sol e à sombra;
- ✓ Obter gráficos de variação da temperatura do pavimento em quatro diferentes profundidades no decorrer do dia;
- ✓ Comparar os modelos gerados neste trabalho com os levantados na literatura.

### 1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto de cinco capítulos.

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução sobre a área de pesquisa, bem como a delimitação do tema abordado, as definições dos objetivos gerais e específicos, as justificativas do trabalho e sua organização.

No segundo capítulo, aborda-se a revisão bibliográfica referente ao tema do estudo, onde se irá tratar dos assuntos alusivos ao clima, processos de transmissão de calor, radiação solar e pavimentos flexíveis.

Em seguida, no terceiro capítulo, será descrita a metodologia adotada neste estudo, a forma da coleta de dados, o local e as características climáticas, como os equipamentos utilizados para a obtenção dos dados.

Posteriormente, no quarto capítulo, consta os dados obtidos *in loco*, a análise dos mesmos, a confecção dos modelos e a comparação de aplicabilidade com os modelos já desenvolvidos.

E por fim, no quinto capítulo, consta a conclusão deste estudo e uma sugestão para um próximo trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Sabe-se que toda rodovia pavimentada está submetida a um conjunto de esforços que possuem origem principalmente devido ao clima (temperatura e pluviometria) e no tráfego nela atuante, sendo estes os mesmos fatores, de maior responsabilidade pela ocorrência da aceleração na deterioração do revestimento, que por consequência ocorre à redução da serventia.

Partindo deste pensamento, que neste capítulo, será apresentado para fins de conhecimento do leitor, uma introdução referente ao clima brasileiro e suas classificações segundo alguns autores, como também sobre o clima do estado do Rio Grande do Sul, e o respectivo município estudado. Será apresentado após sobre as formas de transmissão de calor, em seguida será abordado o tema pavimentos, voltado para área de pavimentos flexíveis, que logo após falar-se-á sobre os ligantes e revestimentos asfálticos, e com isso, as consequências que geram a temperatura e a chuva sobre este tipo de pavimento e; por fim o estudo Programa Estratégico de Pesquisa Rodoviária – Strategic Highway Research Program – SHRP, juntamente com os modelos de previsão de temperatura existentes na literatura para pavimentos flexíveis.

### 2.1 Clima

Para (VESENTINI 1996, 281p) clima “é o nome que se dá às condições atmosféricas que normalmente atuam num determinado lugar ou região”. Mas antes, deve-se diferenciar clima de tempo, pois geralmente se tem uma interpretação incorreta sobre eles. Pois ambos firmam-se através dos mesmos fenômenos atmosféricos, que estes são: temperatura, ventos (umidade do ar), precipitações (chuva e neve) e pressão atmosférica.

Contudo, a diferença é simples, já que o tempo é um diagnóstico momentâneo de uma região, que apresenta alterações atmosféricas continuamente, que varia de um momento para outro, entretanto o clima é o histórico habitual das variadas formas de tempo de um determinado local, sendo obtida através de levantamentos diários, levando em conta as suas variações do tempo neste período, desta forma, após vários anos consecutivos de estudos referentes às suas variações do tempo atmosférico obter-se-á o conhecimento do clima (VESENTINI, 1996).

### 2.1.1 O Clima brasileiro

Segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o Brasil ocupa uma área de 8.515.767,049 km<sup>2</sup>, conforme publicado no Diário Oficial da União nº 16 de 23/01/2013, conforme Resolução nº 01, de 15 de janeiro de 2013, sendo que mais de 90% de seu território está localizada entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, sendo assim, situado na zona tropical.

De acordo com mapa do IBGE (2015) somente a região Sul e o sul do estado de São Paulo se localizam abaixo do trópico de Capricórnio e uma pequena parcela da região Norte se localiza acima da linha do Equador.

Já se observa que por consequência do seu extenso território e litoral, variabilidade de relevo e grande influência de massas de ar (algumas formadas no próprio território), existe uma heterogeneidade climática no país. Lembrando que as massas de polar são as que causam impacto diretamente na temperatura e pluviosidade de uma região, assim resultando as variações climáticas regionais.

Ao consultar a literatura existente, referente no quesito a classificação climática, **são** inúmeras as classificações, onde cada autor se baseia em algum elemento do clima. Abaixo será apresentada a classificação segundo Wilhelm Köppen, Lysia Maria Cavalcante Bernardes e a adotada pelo IBGE.

#### 2.1.1.1 Classificação climática – Wilhelm Köppen

Classificação criada pelo alemão Wilhelm Köppen em 1900 e futuramente aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936 com colaboração com Rudolf Geiger, por isso conhecida por alguns como Köppen-Geiger.

Ao adotar sua classificação, iniciou seu estudo, considerando separadamente os elementos do clima, dentre eles a temperatura, pressão do vento e umidade. Ele se sustenta sua classificação, através dos dados obtidos de temperatura, precipitação e na divisão destes dados durante as estações do ano.

Para classificar YAOADE (1988) explica que Köppen adota uma sigla composta de três caracteres, sendo a primeira maiúscula e as duas subsequentes minúsculas. A primeira letra indica o tipo de clima, sendo apresenta sua divisão em 5 tipos, onde são designados por letras maiúsculas de tal forma:

- A- Climas tropicais chuvosos;
- B- Climas secos;
- C- Climas temperados chuvosos e moderadamente quentes;
- D- Climas frios com neve-floresta e;
- E- Climas polares.

Pode-se acrescentar na classificação a letra H, para climas de terras altas, que não apresentam nenhuma diferenciação. Esta divisão principal das categorias está relacionado diretamente a temperatura do local, sendo que:

A – O mês mais frio apresenta temperatura média superior a 18 °C, resultando num ambiente sem plantas tropicais. Precipitação pluvial anual é maior que a evapotranspiração anual;

B – Evapotranspiração anual é maior que a precipitação anual, dessa forma não resulta em excedentes de água, por isso não há origem de rio nesta região;

C – O mês mais frio tem temperaturas médias entre -3 °C e 18 °C e no mês moderadamente quente apresenta temperatura média maior que 10 °C;

D – O mês mais frio tem temperatura média abaixo de -3 °C e o mês mais moderadamente quente tem temperatura média maior que 10 °C;

E – O mês moderadamente quente tem temperatura média menor do que 10 °C. O mês moderadamente quente do ET tem temperatura média na faixa de 0°C a 10 °C. Já o mês moderadamente quente de EF tem temperatura média abaixo de 0 °C.

Já a segunda, segundo AYOADE (1988), esta ligada a distribuição sazonal da precipitação, está também dividida em 5 grupos, com representação em letras minúsculas, sendo referenciado a qual grupo principal esta característica ocorre, assim:

- f – nenhuma estação seca. O ano todo é úmido (A,C,D);
- m – de monção, com uma breve estação seca e com chuvas intensas durante o resto do ano (A);
- v - chuva de verão (A,C,D);
- s - estação seca de verão (B);

w – estação seca de inverno (B);

Por fim, tem-se a terceira, que fornece características adicionais sobre a média da temperatura na região, onde sua divisão compõe-se da seguinte nomenclatura:

a – verão quente, o mês mais quente tem temperaturas médias  $> 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

b – verão moderadamente quente, o mês mais quente tem temperaturas médias abaixo dos  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

c – verão breve e moderadamente frio, menos do que 4 meses têm temperatura média  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

d – inverno muito frio, onde o mês frio apresenta temperatura média  $\leq -38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

h – quente, temperatura média anual  $> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (regiões áridas);

k – moderadamente frio, temperatura média anual  $< 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Após a análise de todos os dados obteve-se uma classificação climática para cada região, variando conforme as características que compõe o clima naquela região, conforme descrito na tabela 2 abaixo:

**Tabela 1 - Classificação do clima segundo de Wilhelm Köpper**

<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>
<b>A</b>	CLIMAS TROPICAIS CHUVOSOS
<b>Af</b>	Clima tropical chuvoso de floresta
<b>Aw</b>	Clima de savana
<b>Am</b>	Clima tropical de monção
<b>B</b>	CLIMAS SECOS
<b>Bsh</b>	Clima quente de estepe
<b>Bsk</b>	Clima frio de estepe
<b>Bwh</b>	Clima quente de deserto
<b>Bwk</b>	Clima frio de deserto
<b>C</b>	CLIMAS TEMPERADOS CHUVOSO E QUENTES
<b>Cfa</b>	Clima úmido em todas as estações, verão quente
<b>Cfb</b>	Clima úmido em todas as estações, verão moderadamente quente

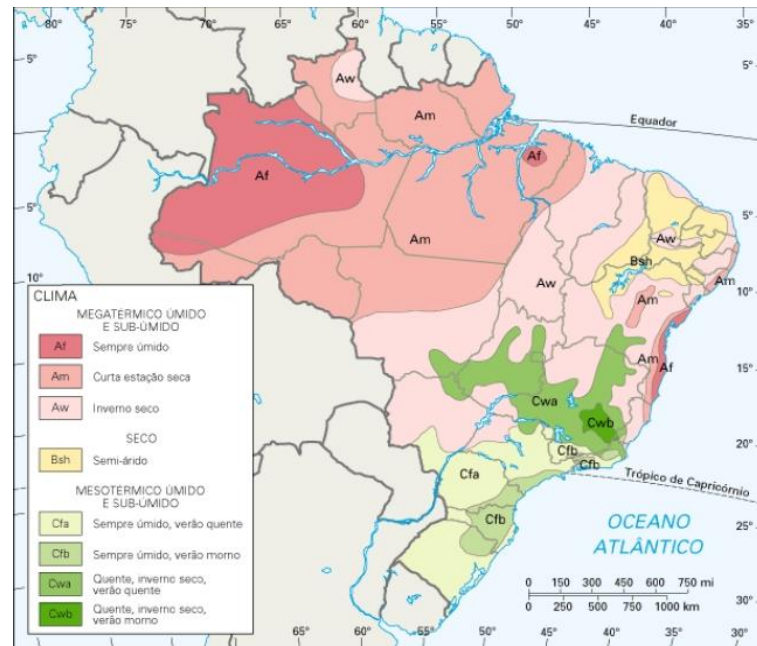
<b>Cfc</b>	Clima úmido em todas as estações, verão modernamente frio e curto
<b>Cwa</b>	Chuva de verão, verão quente
<b>Cwb</b>	Chuva de verão, verão moderadamente quente
<b>Csa</b>	Chuva de inverno, verão quente
<b>Csb</b>	Chuva de inverno, verão moderadamente quente
<b>D</b>	CLIMA FRIO COM NEVE-FLORESTA
<b>Dfa</b>	Úmido em todas as estações, verão quente
<b>Dfb</b>	Úmido em todas as estações, verão frio
<b>Dfc</b>	Úmido em todas as estações, verão moderadamente frio e curto
<b>Dfd</b>	Úmido em todas as estações, inverno intenso
<b>Dwa</b>	Chuva de verão, verão quente
<b>Dwb</b>	Chuva de verão, verão moderadamente quente
<b>Dwc</b>	Chuva de verão, verão moderadamente frio
<b>Dwd</b>	Chuva de verão, inverno intenso
<b>E</b>	CLIMAS POLARES
<b>ET</b>	Tundra
<b>EF</b>	Neve e gelo perpétuos

Fonte: AYOADE (1988).

A classificação de Köppen para o clima brasileiro encontra-se visível a sua distribuição no território através do mapa na página a seguir, como se pode ver na figura 2.



**Figura 2 - Classificação climática do Brasil segundo Wilhelm Köppen**



Fonte: Blog Geografalando - Postado por Gilvan Fontanailles<sup>1</sup>.

### 2.1.1.2 Classificação climática - Lysia Maria Cavalcante Bernardes

A geógrafa Lysia Maria Cavalcante Bernardes, do Conselho Nacional de Geografia, foi a responsável por adaptar a classificação de Köppen para o Brasil. Ela defende que o território brasileiro apresenta cinco tipos de clima, segundo levantamento de Köppen, e estes são:

- ✓ Equatorial (Af e Am): apresenta temperaturas médias e pluviométricas elevadas, ausência de estação seca, pois tem chuvas bem distribuídas ao decorrer do ano e reduzida amplitude térmica anual. Clima predominante na região norte do país;
- ✓ Tropical (Aw): clima da região centro-oeste e parte do nordeste brasileiro. As temperaturas são altas, com média de 25 °C, e há uma clara distinção entre a temporada seca e a chuvosa, pois no inverno ocorre uma e no verão ocorre a outra, respectivamente.

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://geografalando.blogspot.com.br/2013/05/clima-classificacao-climatica.html>> Acesso em 08 de maio de 2015.

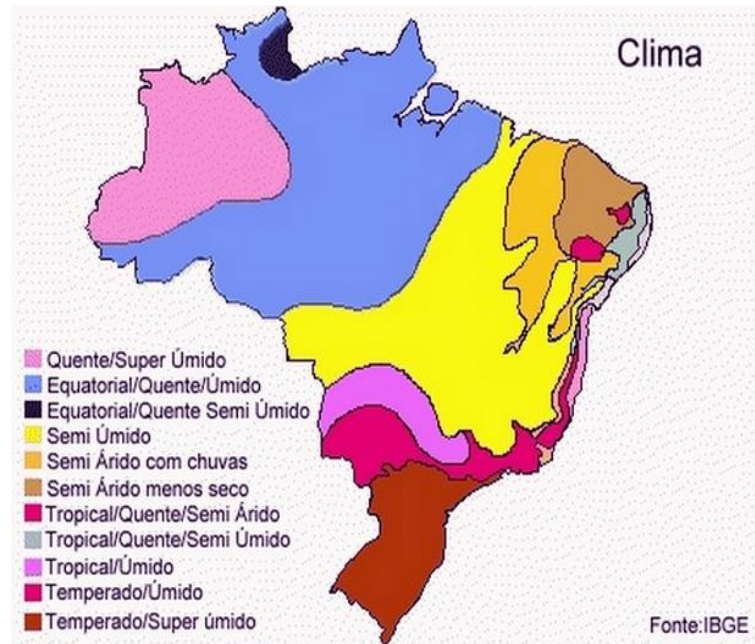
- ✓ Semi-árido (Bsh): as chuvas são escassas e com irregularidade ao decorrer do ano, com precipitações inferiores a 600 mm anuais. As temperaturas são altas o ano todo, ficando na faixa dos 26 °C;
- ✓ Tropical de Altitude (Cwa, Cwb e Csa): a média de temperaturas fica na casa dos 18 °C, sendo assim, mais baixa do que no clima tropical. O índice de pluviosidade demonstra ser influenciado, devido a proximidade do oceano, com isso há uma homogeneidade no que se refere a distribuição das chuvas durante o ano;
- ✓ Subtropical (Cfa e Cfb): clima da região sul, onde as temperaturas medias são menores de 20°C, em decorrência da **influência** da massa polar atlântica; apresenta grande variação de temperatura entre verão e inverno. As chuvas são bem distribuídas durante o ano e não apresenta uma estação seca.

### 2.1.1.3 Classificação climática - IBGE

O IBGE (2014) baseia-se na formulação de seus mapas climáticos através de dados referentes a temperaturas médias, os índices pluviométricos, umidade do ar e a classificação clássica de Köppen.

Devido sua base ser influenciada por vários diversos fatores, algumas regiões se enquadram em uma classe, quando se considera um aspecto e quando se leva em conta outro aspecto, enquadram-se em outra região, mas não se desviando muito deste mapeamento a seguir, conforme exemplifica a Figura 2.

**Figura 3- Classificação do Clima no território brasileiro segundo IBGE**



Fonte: sitio Portal Brasil – IBGE (2014)<sup>2</sup>.

Porém qualquer que seja o modelo de classificação usado, a distribuição dos tipos climáticos em mapas-múndi, indica os tipos que tendem a ser zonais quanto à localização, ressaltando o papel dominante da radiação solar e da latitude que a controla, no clima (MOTTA, 1991, p. 62).

Em sua tese de doutorado MOTTA (1991, p. 62) complementa apontando que “a radiação solar está intimamente ligada à época do ano, ao período do dia e à latitude”. Percebe-se que a quantidade de radiação solar incidente em determinado local é influenciada pela duração do dia, com presença ou não de nebulosidade e de água, como da altitude do local a ser estudado (MOTTA, 1991). Pois com a existência de água e terra no local, teremos reações diferenciadas, pois ambos apresentam propriedades térmicas díspar. Devido essa disparidade térmica o solo aquece e se resfria de forma mais ágil que a água irradiando de volta o calor para a atmosfera (MOTTA, 1991).

<sup>2</sup> Disponível em: <[https://www.portalbrasil.net/images/mapa\\_brasil\\_clima\\_ibge.jpg](https://www.portalbrasil.net/images/mapa_brasil_clima_ibge.jpg)>. Acesso em 07 de maio de 2015.

### 2.1.2 O Clima do Rio Grande do Sul

O Estado do Rio Grande do Sul apresenta um território com uma área de 281.731,445 m<sup>2</sup>, situa-se no extremo sul do Brasil, entre as latitudes de 27° e 34° Sul e as longitudes de 50° e 57° Oeste, de acordo com IBGE (2014).

O sul tem como diferencial das outras regiões do país, a homogeneidade pluviométrica, onde se tem chuvas bem distribuídas ao longo do ano, fato que não se repete no elemento temperatura, pois é a única região do país sofre com fenômenos climáticos como neve, chuva congelada e geada e apresenta verões quentes.

No Sul, um fato que distingue a climatologia local das demais regiões do país é referente a umidade, pois apresenta o domínio do clima mesotérmico<sup>3</sup> do tipo temperado, diferente do resto das demais regiões do país onde o clima é quente do tipo tropical. NIMER (1989) lembra de que o clima mesotérmico aparece em outros estados do país, em forma de pontos isolados, decorrente em áreas de maiores altitudes em clima de característica tropical. Já na região sul o clima mesotérmico aparece próximo ao nível do mar, alusivo a latitudes médias, sendo assim do tipo temperado. Assim confirmando a análise dos dados do IBGE por NIMER (1989) onde constatou que 70,43% da superfície do território do Rio Grande do Sul encontra-se apresenta altitude abaixo dos 300 metros.

Além destas características marcantes da região, encontra-se a presença de fatores geográficos, como a sua posição, que está situado na zona temperada (região do planeta que recebem com menos intensidade a luz e o calor do sol), a continentalidade, maritimidade (existência de superfícies líquidas que auxiliam na evaporação, e este, gerando a condensação ou a formação nuvens) e a própria dinâmica atmosférica que ocorre na maioria das vezes de forma adiabática.

---

<sup>3</sup> Clima com grande amplitude térmica. O mês mais frio tem temperaturas médias entre -3 °C e 18 °C e no mês moderadamente quente apresenta temperatura média maior que 10 °C, segundo AYOADE (1988).

**Figura 4 - Climas Zonais do Brasil**



Fonte: IBGE (2015)<sup>4</sup>.

Assim, o estado do Rio Grande do Sul está situado numa zona temperada, de clima temperado, onde as quatro estações do ano estão bem definidas e com a presença de uma grande amplitude térmica anual (diferença entre o mês mais quente do mais frio) (VESENTINI, 1996). Porém, este pode ser dividido em subtropical úmido, dependendo da região onde atua, pois apresentam um índice pluviométrico e temperaturas médias de estações, semelhantes ao de clima subtropical.

Assim, indo ao encontro da classificação climática de Köppen para o Rio Grande do Sul, onde este enquadrou o estado na zona temperada (C), tipo úmido (Cf), com duas variedades específicas: verão quente (Cfa) e verão moderadamente quente (Cfb), conforme Figura 1.

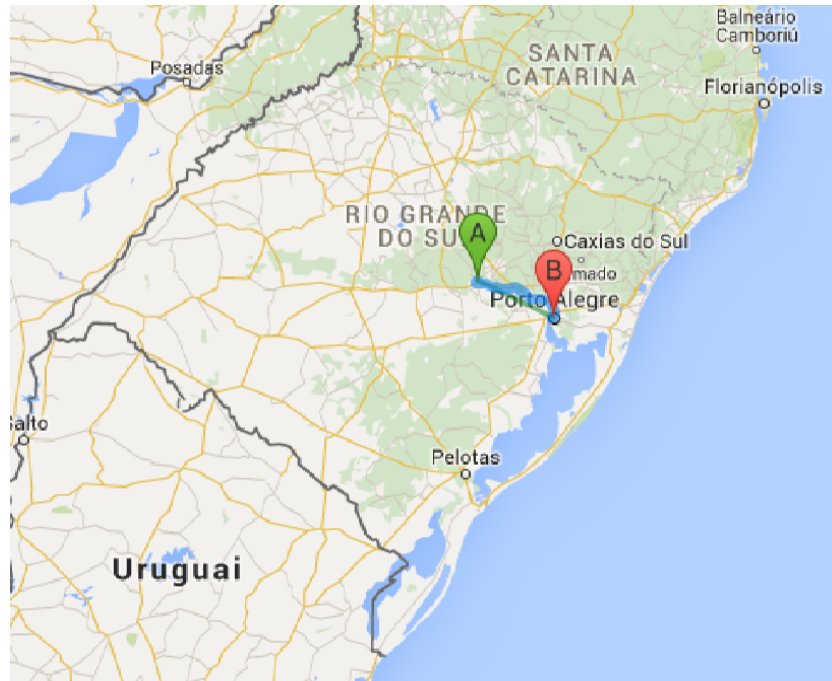
### 2.1.3 O Clima do município de Venâncio Aires

O município de Venâncio Aires localiza-se na região Centro Oriental do estado do Rio Grande do Sul, distante a 104,22 km em linha reta ou por rodovia a 134 km da cidade de Porto Alegre, capital do estado (conforme ilustra figura 7) na

<sup>4</sup> Disponível em: <http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/relevo-e-clima>. Acesso em 03 de maio de 2015

Latitude: 29° 36' 23" Sul e longitude 52° 11' 31" Oeste numa altitude de 46,00 metros<sup>5</sup>.

**Figura 5 - Localização do município estudado**



Fonte: Google Mapas (2015).

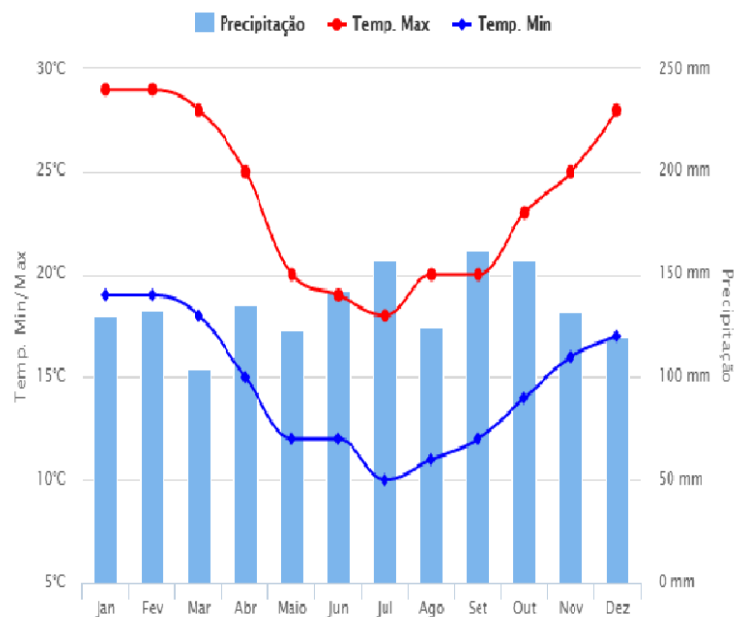
A classificação do clima do município se enquadra na nomenclatura Cfa, segundo Köppen e Geiger, onde C: clima subtropical ou temperado, f: sempre úmido e a: verões quentes.

Segundo ClimaTempo (2015) Venâncio Aires apresenta uma pluviosidade significativa ao decorrer do ano, chegando à marca de 1620 mm a pluviosidade média anual, desta forma, resultando na ausência de estação seca, pois mesmo em março, no mês mais seco a precipitação chega aos 104 mm, resultando numa diferença de 58 mm em relação ao mês mais chuvoso, que é setembro, onde se tem o registro de 162 mm de precipitação.

A temperatura média registrada na cidade é de 19,08 °C. Os meses de janeiro e fevereiro são os mais quentes do ano, onde a temperatura média registrada é na marca dos 24 °C. Em contrapartida, pode-se notar que os meses de junho e julho, são os mais frios do ano no município, pois a temperatura média registrada é de 14 °C e 15,5 °C, respectivamente, como pode-se observar na Figura 6.

<sup>5</sup> Disponível em: <http://www.geografos.com.br/cidades-rio-grande-do-sul/venancio-aires.php>. Acesso em 01 de junho de 2015.

**Figura 6 - Dados dos últimos 30 anos da temperatura e precipitação no município de Venâncio Aires**



Fonte: ClimaTempo (2015).

Os dados acima apresentados representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos de observação diária do tempo na região.

## 2.2 Transmissão de calor

Para CHIQUETTO; PARADA (1991) Calor é a transferência de energia de um corpo para o outro, resultante da diferença de temperatura entre si.

A temperatura é descrita por INDIAS (1992) como uma propriedade que caracteriza o estado térmico das partículas constituintes de um corpo. Já AYOADE (1988, p. 50) define a mesma como [...] o fluxo de calor que passa de uma substância para a outra [...].

A palavra calor deve-se ser apenas utilizada com o objetivo de indicar a energia que está em transferência de um corpo para outro, devido a uma diferença de temperatura entre eles.

Logo, chega-se à conclusão que não se deve dizer que a temperatura é uma medida do calor no corpo, pois com a transferência de calor, automaticamente irá resultar num aumento de energia dos átomos e molécula (Agitação) que por consequência provoca uma ascensão na temperatura.

Na realidade, segundo (KILPP, 2004) “o que um corpo possui é energia interna e quanto maior for a sua temperatura, maior será esta energia interna”.

Existem três processos para que ocorra a transmissão de calor, e estes são: condução, convecção e irradiação, que serão apresentados e explicados a seguir, e ilustrado conforme figura 7 abaixo.

### **2.2.1 Transmissão de calor por condução**

Também conhecido como Lei de Fourier. Fenômeno que ocorre quando corpos em diferentes temperaturas são postos em contato, ou seja, é transferido o calor devido às colisões entre átomos e moléculas vizinhas.

A condução é interpretada através da teoria cinética, que diz o seguinte: “As moléculas do corpo mais quente têm maior energia cinética. Assim, através de choques entre as moléculas, a energia se transfere do corpo mais quente para o mais frio” (CHIQUELTO; PARADA, 1992, p. 54).

Já outra autora define que:

“A transmissão de energia por condução corresponde a uma transferência de energia cinética à escala molecular, as moléculas chocam entre si e o número de choques é tanto maior quanto mais elevada for a temperatura”.  
(ÍNDIAS, 1992, p 151)

### **2.2.2 Transmissão de calor por convecção**

Fenômeno que ocorre em fluidos, ou seja, em líquidos ou gases. Conhecido como Lei de Newton do resfriamento.

Essa transferência de calor em fluidos pode até ocorrer por condução, mas a responsável pela maior parte do calor transferido nestes materiais é devido a convecção, por que segundo ÁLVARES; LUZ, (1986) tal fenômeno não ocorre em corpos sólidos, pois há a necessidade de movimento de matéria para ocorrer a transferência.



### 2.2.3 Transmissão de calor por Irradiação

O processo de transmissão de calor por irradiação ou conhecido como Lei de Stefan-Boltzmann, apresenta características impares em relação aos antes apresentados. Pois para que ocorra a transferência de calor por condução e convecção, é necessário de meios materiais.

Já a irradiação ocorre pelo vácuo. A irradiação ou radiação é o processo mais importante de propagação de calor, por ser a principal forma pela qual o sistema Terra-Atmosfera recebe energia do Sol e libera energia para o espaço, por que, caso não ocorresse este processo não haveria forma de existir vida na Terra (ÍNDIAS, 1992).

Este fenômeno obedece a seguinte lei: “Para um certo corpo, a quantidade de calor irradiado num determinado intervalo de tempo depende apenas da sua temperatura” (CHIQUETTO; PARADA, 1992, p.55).

Sua forma de propagação de calor ocorre através de ondas eletromagnéticas, chamadas ondas de calor ou calor radiante, sendo transmitido na forma de impulsos.

### 2.2.4 A radiação solar e a atmosfera terrestre

O espectro da radiação solar “distribui-se por comprimentos de onda que vão de 0,15  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$ , sendo visível apenas a zona compreendida entre 0,38  $\mu\text{m}$  e 0,78  $\mu\text{m}$ ” (ÍNDIAS, 1992, 157p). De todos os acidentes, a difusão e a absorção são os que mais influem na redução da intensidade da radiação solar através da atmosfera terrestre, sendo os principais absorventes: oxigênio, gás carbônico e o vapor d'água (ÍNDIAS, 1992).

Ainda Índias (1992) sustenta que a radiação global engloba a radiação solar direta e a radiação que é difundida pelas moléculas e poeiras existentes na atmosfera. Assim, [...] “medindo-se a radiação global e a radiação difusa, obter-se-á acesso ao valor da radiação direta, calculando-se a diferença das outras duas” [...] (ÍNDIAS, 1992, 161p). Sendo assim, é um método adotado por muitas estações meteorológicas, quando eles não possuem os equipamentos necessários para fazer o levantamento da radiação solar direta.

A definição de insolação é resumidamente o número de horas de sol por dia, onde em dias de céu limpo, esse número coincide com o número de horas que o sol

está acima do horizonte. Já na ocasião de haver nuvens que cubram o sol, a insolação é bem inferior que este número de horas.

Para medir a radiação global usam-se os piranômetros, para medir a radiação difusa utilizam-se os difusômetros, que são piranômetros aos quais se adaptou um arco metálico, de modo a fazer sombra sobre a parte sensível e evitar que a radiação solar direta incida nele. Deste modo só a radiação difusa é absorvida pela placa negra do disco do piranômetro. Quando se torna necessário conhecer com rigor o valor da radiação direta usam-se os pirheliômetros. Nestes aparelhos existe um tubo que se aponta diretamente para o sol e que só detecta os raios paralelos, através de um sistema de colimadores são eliminados todos os outros raios de direções variadas, provenientes da difusão. Uma outra característica do pirheliômetro é a de permitir medir a radiação de um determinado comprimento de onda, para isso existem filtros apropriados (ÍNDIAS, 1992, 161-162p).

A medição da insolação realiza-se através dos solarígrafos. Estes pequenos dispositivos apresentam, como órgãos principais, uma lente convergente para concentrar os raios solares com uma fita de papel enegrecido que é queimada à medida que os raios solares nela vão incidindo. Ao decorrer do dia, conforme o sol no seu movimento aparente, este vai percorrendo um arco no céu, e assim, o papel é queimado gradativamente, e se por acaso nuvens encobrirem o sol, aparecerá zonas de papel por queimar (ÍNDIAS, 1992).

### **2.3 Pavimentos**

Segundo Yoder (1975) apud KILLP (2004), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas, cujas principais funções são: melhorar as condições de conforto e segurança; resistir e distribuir os esforços causados pelo tráfego no subsolo, aos esforços horizontais que nele atuam, tornando-o mais durável à superfície de rolamento e principalmente resistir às intempéries e variações climáticas.

Já BALBO (2007) define pavimento como:

Uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e, ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação, obrigatórios. (BALDO, 2007, p. 35)

BERNUCCI et al. (2008), estes definem pavimento, desta forma:

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. (BERNUCCI et al., 2008, p 9)

Os pavimentos se enquadram em três classificações: pavimentos flexíveis, semirrígido e rígido, segundo DNIT (2006), onde estes apresentam a seguinte descrição:

Flexível: aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalente entre as camadas.

Semirrígido: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como, por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

Rígido: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e portanto absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. (DNIT, 2006, p. 95)

### **2.3.1 Pavimentos flexíveis**

O pavimento flexível é uma estrutura constituída de uma ou mais camadas de espessura finita, cujo seu revestimento é do tipo betuminoso. O dimensionamento deste tipo de pavimento é comandado pela resistência do subleito por onde passará a rodovia. No caso geral, o pavimento flexível é constituído das seguintes camadas: revestimento; base; sub-base; reforço do subleito (se necessário).

No Brasil, conforme BERNUCCI et al. (2008), encontra-se na composição do revestimento dos pavimentos asfálticos, geralmente uma mistura de agregados minerais de vários tamanhos e ligantes asfálticos. O material asfáltico “é um material negro com viscosidade variável com a temperatura” (MEDINA, 2005, p. 73) que seu principal intuito é realizar a junção das partículas do agregado, além de mantê-las na posição adequada para que ocorra a transmissão uniforme do carregamento oriundo dos veículos até às camadas inferiores. Já o agregado é definido como um “material

granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades de argamassa ou concreto”, segundo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 9935 (2005), que tem por objetivo de constituir a estrutura do pavimento, com a finalidade suportar e transmitir as cargas impostas na sua superfície e também no seu interior, de acordo com ASPHALT INSTITUTE (1994) e BERNUCCI et al. (2008).

O pavimento flexível é dimensionado por camadas granulares à compressão e à tração na flexão, que acaba resultando no aparecimento das bacias de deformação sob onde ocorre a circulação das rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes e ao rompimento por fadiga (VIEIRA, 2002).

### **2.3.2 Ligantes asfálticos**

O asfalto, também conhecido como material betuminoso ou Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) é o ligante obtido do petróleo. Sabe-se da existência de outro material betuminoso, o alcatrão, onde este é obtido através da destilação do carvão, porém este não é mais utilizado na área da pavimentação, desde a comprovação do mesmo ser cancerígeno.

Os ligantes asfálticos são denominados de materiais betuminosos, devido à presença de betume na sua composição, onde este apresenta a seguinte definição: elemento composto por hidrocarbonetos pesados (alcenos e alcinos, obtidos na refinação), inflamável e que apresenta propriedades ligantes, de viscosidade elevada em temperatura ambiente, fácil aplicabilidade e relativamente barato (BALBO, 2007).

O CAP é obtido através de processos de refinamento do petróleo cru, para a finalidade específica de revestir o pavimento, segundo BALBO (2007), que acaba resultando num material de tonalidade negra, com um aspecto sólido ou semissólido em temperatura ambiente, com propriedades impermeabilizantes, excelente ligação com os agregados, podendo ser utilizado de forma aquecida ou emulsionada, com ou sem a presença de aditivos (BERNUCCI et al 2008).

O concreto asfáltico de petróleo é classificado de acordo com a sua consistência (ensaio de penetração) e viscosidade, onde ambas as formas buscam definir a qualidade dele com ensaios e medidas distintas. O ensaio de penetração consiste em fornecer uma medida em décimos de milímetros da penetração no CAP através de uma agulha padronizada a uma temperatura de 25 °C, onde se obtém

valores baixos ou altos, sendo este caracterizado como asfalto mole e aquele como asfalto rígido. A classificação dos CAPs por penetração se divide em 3 categorias: Duros: CAP 30/45; Médios: CAP 50/70, CAP 85/100 e; Moles: CAP 150/200.

Já em relação à viscosidade, ela se baseia por meio de Poise, que mede a resistência ao escoamento (unidade de viscosidade), na temperatura de 60 °C, onde aqui no Brasil, dividindo-se em três grupos: CAP-7, CAP-20 e CAP-40.

Com isso, e revisando a literatura, observa-se que para fins de engenharia, o ensaio de viscosidade apresenta maior significado e vantagem, devido estar medindo uma propriedade física, a diversas temperaturas, assim consegue-se mostrar melhor a sensibilidade térmica do asfalto, exceto em baixas temperaturas, onde este ensaio fica prejudicado. Em contra partida, o ensaio de penetração é demonstrar ser um teste ágil de interpretação imediata e, principalmente de baixo custo.

### **2.3.3 Revestimento asfáltico**

O revestimento asfáltico é a camada destinada a suportar diretamente às ações do tráfego e mais diretamente a ação climática, onde em seguida irá transmiti-las de forma minorada às camadas inferiores, além de impermeabilizar e melhorar as condições de rolamento deste pavimento (BERNUCCI et al 2008)

Na maioria dos casos, baseando-se pelo volume de tráfego, onde adota-se um revestimento asfáltico composto de um único tipo de mistura asfáltica, onde este varia de acordo com: o local de fabricação, sendo uma mistura específica (mistura usinada) ou confeccionada na própria pista (utilizada em tratamentos superficiais); a temperatura de mistura, podendo ser a quente (CAP) ou a frio (EAP) e; de acordo com a sua composição granulométrica, dividindo-se em densas, abertas e descontínuas.

Os tipos de revestimento asfáltico, quanto ao local da fabricação, dividem-se em misturas usinadas (densas ou descontínuas) e fabricadas na pista. As misturas usinadas densas são: concreto asfáltico, areia-asfalto, pré-misturado a frio e; as misturas usinadas descontínuas são: SMA, porosa, “*gap-graded*”. Já os fabricados na pista são os tratamentos superficiais, que “são executados sobre a base ou sobre o revestimento do pavimento já existente” (BALBO, 2007, 188p).

A quantidade do tipo de revestimento asfáltico no quesito temperatura de mistura, divide-se em: a quente e a frio. Os tipos de mistura a quente são os Pré-misturados: denso ou aberto (PMQ), Concreto asfáltico (CA) ou Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e também existe as Argamassa betuminosa: areia asfalto (AAUQ), utilizado em regiões com ausência de agregados pétreos graúdos. Os de mistura a frio, temos os em usina: Pré-misturado (PMF) podendo ser denso, semi denso ou aberto e, os produzidos no local: tratamento superficial (TSS), lama asfáltica e micro revestimento.

Já referente a composição granulométrica, os tipos de revestimentos (a quente) mais usuais dividem-se em densas, abertas e descontínuas. A graduação densa é contínua com uma estrutura com poucos vazios, como exemplo: concreto asfáltico (CA); graduação aberta apresenta uma curva granulométrica uniforme, com a presença de agregados predominantemente de um mesmo tamanho, com uma estrutura com muitos vazios interconectados, possibilitando a percolação de água no interior da mistura asfáltica. Exemplo: Camada porosa de atrito (CPA); e graduação descontínua: curva granulométrica com presença de grãos de maiores dimensões predominando em relação aos grãos de dimensões intermediárias, com preenchimento por finos, resultando numa estrutura mais resistente à deformação, devido o maior contato entre os agregados graúdos. Exemplo: matriz pétreo asfáltica (*stone matrix asphalt* – SMA) (BENUCCI, 2008).

#### **2.3.4 Concreto Asfáltico (CA) ou Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)**

Dos tipos de revestimentos vistos no item anterior, o mais adotado no Brasil, sem dúvida é o concreto asfáltico (CA) também denominado concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

O CBUQ é um material para construção de revestimento de pavimentos, como também as capas de rolamento e camada de ligação imediatamente subjacente ao revestimento (quando há duas camadas de revestimento), obtido através de mistura de CAP e agregados bem graduados (graúdo, miúdo e com finos para enchimento, podendo este ser pó de pedra ou cimento Portland) aquecidos em temperaturas antecipadamente escolhidas, devido à característica viscosidade-temperatura do ligante, sendo confeccionado em uma central de usinagem de

pequeno, médio ou grande porte (BENUCCI, 2007). O Concreto Asfáltico pode ainda ser aplicado conforme (BALBO, 2007) com a finalidade de regular o nível do *Greide*<sup>6</sup> de uma superfície antiga pavimentada, dessa forma, este passa a ser designado como camada de regulação ou camada de nivelamento (reperfilagem).

Nota-se que neste tipo de revestimento, o arranjo de partículas é bem-graduado, que conseqüentemente resulta num baixo consumo de ligante para cobrir os elementos e completar os vazios e ainda deixar vazios com ar depois da compactação, na faixa de 3 a 5%, no caso de camada de rolamento e, de 4 a 6% para camadas subjacentes à de rolamento, pois se isto não ocorre, tornam-se instáveis as misturas asfálticas ao tráfego, resultando em deformações por exsudação, com o fechamento da macrotextura (agregado + ligante) superficial devido a sua sensibilidade a variação do teor de ligante asfáltico. Entretanto, a falta de ligante resulta num enfraquecimento da mistura e de sua resistência ao surgimento de trincas, visto que a resistência à tração é afetada e sua vida de fadiga reduz drasticamente. Mas uma solução para diminuir a sensibilidade dos concretos asfálticos a pequenas variações de teor de ligante e, conseqüentemente deixá-los ainda mais resistentes e duráveis, é mudar o ligante asfáltico convencional por ligante modificado por polímero ou por asfalto-borracha, pois apresentam um módulo de resiliência e resistência à deformações elevado (BERNUCCI, 2008).

### **2.3.5 A ação da temperatura nos pavimentos flexíveis**

Os pavimentos flexíveis, como já foram explicados anteriormente, são formados pela mistura de agregados e ligantes asfálticos. O material asfáltico é termo sensível, tornando-se rígido a temperaturas baixas e fluído a altas temperaturas, “assim, a deformabilidade maior ou menor do pavimento é condicionada pelas variações da temperatura do ar ou das condições meteorológicas de um modo geral” (MEDINA, 2005, p. 73). Ressaltando de acordo MEDINA e MOTA (2005) e SPECHT (2008) citados por VASSOLER (2009, p.17) independente de se o pavimento é rígido ou flexível, mesmo assim, estes alteram seus estados de tensões e deformações quando expostos a gradientes térmicos.

---

<sup>6</sup> Linha longitudinal do perfil da estrada.

A temperatura é um dos aspectos do clima que deve ser dada grande relevância no projeto de pavimentos, tendo em vista sua atuação específica nos revestimentos, sendo causadora de deformabilidade da estrutura e de grande influência no seu desempenho, pois a temperatura da superfície do revestimento reage de imediato às variações atmosféricas ao longo do dia, desde uma passagem de nuvens até uma chuva repentina, gerando uma queda brusca na temperatura da superfície, fato que frequentemente nem alcança as outras profundidades ao longo do interior do mesmo, conforme relata MOTTA (1991).

Em altas temperaturas percebe-se a ocorrência do descolamento e o envelhecimento do ligante. Tal fato ocorre devido as transformações químicas que ocorrem no pavimento, devido a sua exposição à radiação solar, seguida ou não de chuvas ácidas. Cabe ressaltar que não são apenas as altas temperaturas as vilãs da história, pois as baixas temperaturas provocam o trincamento no revestimento asfáltico através da retração.

Conseqüentemente, com a redução da viscosidade do ligante, pode este fluir ou exsudar, resultando em trilhas de roda ou escorregamentos da camada tratada, que podem ser acompanhados da presença de rupturas. Em contrapartida, “devido às altas temperaturas, os materiais tratados com ligantes betuminosos perdem parte de sua capacidade de distribuição das cargas, mas em contrapartida, se tornam mais flexíveis” (DAER/RS, 1980 *apud* KILLP, 2004).

### **2.3.6 A ação da chuva nos pavimentos flexíveis**

Este fenômeno apresenta grande relevância na aceleração do processo de oxidação do ligante asfáltico, pois de acordo com BALDO (2007), auxilia na liberação de óleos, lubrificantes e combustíveis dos veículos sobre as pistas, tornando a superfície mais fechada e possibilitando a formação de película de água entre o pneu e pavimento.

As chuvas, além de colaborar para a aceleração do processo acima, podem ocasionar o umedecimento do sub-leito, tornando este menos resistente e mais flexível, o que acarreta maior fadiga dos materiais constituintes da estrutura. Quando o leito da estrada é formado por material expansivo, na presença de água, este pode inchar e/ou retraindo, ocasionando deformações na estrutura, que por consequência,



resultará em uma alta redução da resistência do revestimento do pavimento e sua estrutura (MOTTA, 1991).

Já ocorrendo o umedecimento das camadas que constituem a estrutura do pavimento, pode ocasionar na redução de suas características mecânicas, como o caso do atrito e a coesão e assim também, ocasionando o deslocamento da película do ligante (DAER/RS, 1980 *apud* KILLP, 2004), além acelerar a redução da serventia da rodovia, devido à presença de trincas na superfície, assim facilitando a entrada de água na estrutura.

Mas o que mais se nota com a superfície de um pavimento molhado, é a sua brusca redução de resistência à derrapagem, que é devido na maioria dos casos pela presença de trilhas de rodas e afundamentos na pista que provocam empoçamentos ou acúmulos de água; o desgaste superficial com polimento de agregado, que resulta na redução do atrito pneu com o pavimento e; pela ausência ou insuficiência de drenagem (não comportam a demanda resultante do volume de chuvas) nas laterais da rodovia, assim acumulando água em alguns trechos da pista.

### **2.3.7 Strategic Highway Research Program - SHRP**

O Programa Estratégico de Pesquisa Rodoviária – Strategic Highway Research Program - SHRP, teve origem através de um grupo de universidades americanas e órgãos governamentais, no final dos anos 80, que tinha o intuito de confeccionar um novo sistema de especificação de materiais asfálticos. Este sistema denominado SUPERPAVE™ (SUPERior PERFORMANCE Asphalt PAVements – Pavimentos Asfálticos de Desempenho Superior) foi produto resultante deste programa de pesquisa. Onde se pode notar que as classificações americanas de cimento asfáltico, baseiam-se através dos ensaios de penetração a 25 °C e viscosidade a 60 °C, assim como as brasileiras.

O sistema SUPERPAVE é o único que se baseia no grau de desempenho (PG – Performance Grade) do material, para posteriormente conseguir especificar o ligante a ser utilizado, obtendo-se das condições climáticas daquela região e o seu trafego após executada, para evitar patologias futuras, como trincas por fadiga.

O seu desempenho é apresentado por dois valores, o grau de alta e de baixa temperatura, por exemplo, PG 64-22 graus, significa que este betume é adequado para projetos onde a sua localização de execução a temperatura máxima do

pavimento seja de 64 °C e a mínima de 22 °C, ou seja, desta forma devemos adotar um grau superior ao encontrado, (BERNUCCI, 2008).

Este sistema também leva em conta, considerações adicionais, tanto referentes ao tráfego, também como volume e tempo de aplicação de carga e seu adequado armazenamento, entre outros (ASPHALT INSTITUTE, 1994).

### 2.3.8 Modelos desenvolvidos para a previsão de temperatura

O início do estudo foi realizado pelo programa SHRP (ASPHALT INSTITUTE, 1994) para estimar as máximas temperaturas do pavimento. A partir disto, foi confeccionado a Equação 1, conforme segue abaixo, que fosse capaz de determinar a temperatura máxima do pavimento referente à 2 cm de profundidade a partir da superfície.

$$T_{2cm} = 0,9545.(T_{ar} - 0,0061.lat^2 + 0,2289.lat + 42,2) - 17,78 \quad (1)$$

Onde na fórmula temos:

$T_{2cm}$  = temperatura do pavimento à 2 cm de profundidade em Grau Celsius (°C);

$T_{ar}$  = média da temperatura máxima de 7 dias consecutivos em °C;

lat = latitude de projeto em graus.

Porém a obtenção da temperatura mínima do pavimento no SUPERPAVE™, segundo KILLP (2004) é determinada através da Equação 2 abaixo, através da temperatura mínima do ar em um ano típico.

$$T_{min} = 0,859.T_{ar} + 1,7^{\circ}C \quad (2)$$

Sendo:

$T_{min}$  = temperatura mínima de pavimento de projeto em °C;

$T_{ar}$  = temperatura mínima do ar em um ano típico em °C.

E conforme Barker et al. (1977) citado por GONÇALVES (1999), com seu estudo realizado em pavimentos nos Estados Unidos da América (EUA) no estado do Michigan, a temperatura na superfície da camada asfáltica pode ser estimada a partir da temperatura do ar através da seguinte relação apresentada na Equação 3:

$$T_{\text{asf}} = 1,2 \cdot T_{\text{ar}} + 3,2^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Onde:

$T_{\text{asf}}$  = temperatura na superfície do revestimento asfáltico em °C;

$T_{\text{ar}}$  = temperatura em °C.

Para a definição da temperatura do pavimento, Rodrigues (1991) citado por Motta (1991, 116 p.), desenvolveu a Equação 4, através de dados da Pesquisa de Avaliação Estrutural de Pavimentos (PAEP) do IPR/DNER relacionado a rodovia DF - 003 no Distrito Federal, como apresentada abaixo:

$$T_{(x)} = T_{\text{sup}} + (T_{\text{sup}} - T_{\text{ar}}) \cdot [1 - \exp^{(0,06855 - 0,002633 \cdot x) \cdot x}] \quad (4)$$

Onde na fórmula:

$T_{(x)}$  = temperatura na profundidade x do revestimento;

$T_{\text{sup}}$  = representa a temperatura da superfície do pavimento em °C;

$T_{\text{ar}}$  = é a temperatura do ar próxima ao pavimento em °C.

MOTTA (1991), em sua tese de doutorado, criou diversas equações para cada região do Brasil, também desenvolveu através de dados PAEP do IPR/DNER, a qual não obteve acesso para determinar qual rodovia de qual estado da região sul foi utilizado como parâmetro. Para a região sul, que é o caso do estudo, resultou na confecção de duas equações. A Equação 5 deste trabalho, é destinada para pavimentos de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), cujas temperaturas foram medidas entre 3 e 4 cm de profundidade, em camadas de até 6 cm de espessura, apresentando variações de temperaturas do revestimento na faixa dos 14 °C a 60 °C e temperaturas do ar entre 12 °C e 37 °C.

$$T_{\text{rev}} = -6,51 + 1,61 \cdot T_{\text{ar}} \quad r = 0,92 \quad (5)$$

$T_{\text{rev}}$  = representa a temperatura do revestimento entre 3 e 4 cm de profundidade do pavimento, em °C;

$T_{\text{ar}}$  = é a temperatura do ar próxima ao pavimento, em °C.

Para temperaturas medidas em CBUQ entre 5 e 7 cm de profundidade, em revestimentos que apresentavam uma espessura de camada no valor de 8 e 11,5 cm, MOTTA (1991) desenvolveu a Equação 6 abaixo, porém a temperatura do revestimento deve se encontrar na faixa dos 13 °C a 63 °C e a temperatura do ar deve estar entre 8 °C e 39 °C.

$$T_{rev} = -1,18 + 1,45 \cdot T_{ar} \quad r = 0,87 \quad (6)$$

$T_{rev}$  = representa a temperatura da superfície do pavimento;

$T_{ar}$  = é a temperatura do ar próxima ao pavimento.

VIERA (2002) coletou temperaturas nas profundidades de 5 cm e 9 cm no pavimento asfáltico localizado no município de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, além de registrar as temperaturas do ar e a irradiação solar no período de 2000 a 2001, resultando isto em duas equações, uma para cada caso, como pode-se ver através das Equações 7 e 8.

$$T_{5\text{ cm}} = 2,60 + 0,88 \cdot T_{ar} + 0,014 \cdot Irrad \quad (7)$$

$$T_{9\text{ cm}} = 3,0 + 0,92 \cdot T_{ar} + 0,006 \cdot Irrad \quad (8)$$

Onde, na fórmula:

$T_{5\text{ cm}}$  = temperatura, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade;

$T_{9\text{ cm}}$  = temperatura, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 9 cm de profundidade;

$T_{ar}$  = temperatura do ar, em °C;

$Irrad$  = radiação solar em  $w/m^2$ , medida 1,50 m acima da cota da superfície do pavimento.

E KILPP (2004) coletou as temperaturas nos pavimentos nos municípios Ijuí e Sobradinho, localizados no Rio Grande do Sul, no período de outubro a novembro de 2003 em horários intercalados, com o intuito de desenvolver um modelo de previsão de temperatura para estes municípios e para regiões de clima subtropical, A autora coletou a temperatura nas profundidades de 2 cm, 5 cm e na superfície do pavimento.

Após a análise dos resultados gerou-se as Equações 9, 10 e 11 para obter a temperatura máxima do pavimento, em relação a temperatura do ar, na superfície do pavimento e nas profundidades de 2 cm e 5 cm no município de Ijuí.

$$T_{\text{sup}} = 2,28 + 1,09 \cdot T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,82 \quad (9)$$

$$T_{2 \text{ cm}} = 0,48 + 1,23 \cdot T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,75 \quad (10)$$

$$T_{5 \text{ cm}} = -0,06 + 1,28 \cdot T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,68 \quad (11)$$

Onde, na fórmula:

$T_{\text{sup}}$  = temperatura máxima, em °C, na superfície do revestimento asfáltico;

$T_{2 \text{ cm}}$  = temperatura máxima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 2 cm de profundidade;

$T_{5 \text{ cm (máx)}}$  = temperatura máxima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade;

$T_{\text{ar}}$  = temperatura do ar, em °C;

KILPP (2004) também gerou as Equações 12, 13 e 14 para obter a temperatura mínima do pavimento, em relação à temperatura do ar, na superfície do pavimento e nas profundidades de 2 cm e 5 cm no município de Ijuí.

$$T_{\text{sup}} = -0,50 + 1,04 \cdot T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,90 \quad (12)$$

$$T_{2 \text{ cm}} = -1,21 + 1,07 \cdot T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,88 \quad (13)$$

$$T_{5 \text{ cm}} = -0,09 + 1,00 \cdot T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,84 \quad (14)$$

Onde, na fórmula:

$T_{\text{sup}}$  = temperatura mínima, em °C, na superfície do revestimento asfáltico;

$T_{2 \text{ cm}}$  = temperatura mínima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 2 cm de profundidade;

$T_{5 \text{ cm}}$  = temperatura mínima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade;

$T_{\text{ar}}$  = temperatura do ar, em °C;

O mesmo procedimento foi realizado por KILPP (2004) para gerar as Equações 15, 16 e 17 para descobrir a temperatura máxima do pavimento, em relação à temperatura do ar, na superfície do pavimento e nas profundidades de 2 cm e 5 cm no município de Sobradinho.

$$T_{\text{sup}} = -0,40 + 1,35 \cdot T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,68 \quad (15)$$

$$T_{2\text{ cm}} = -1,08 + 1,47. T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,59 \quad (16)$$

$$T_{5\text{ cm}} = -0,30 + 1,44. T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,50 \quad (17)$$

Onde:

$T_{\text{sup}}$  = temperatura máxima, em °C, na superfície do revestimento asfáltico;

$T_{2\text{ cm}}$  = temperatura máxima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 2 cm de profundidade;

$T_{5\text{ cm}}$  = temperatura máxima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade;

$T_{\text{ar}}$  = temperatura do ar, em °C;

E gerou-se as fórmulas 18, 19 e 20 para descobrir a temperatura mínima do pavimento, em relação à temperatura do ar, na superfície do pavimento e nas profundidades de 2 cm e 5 cm no município de Sobradinho.

$$T_{\text{sup}} = 3,57 + 1,02. T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,70 \quad (18)$$

$$T_{2\text{ cm}} = 6,55 + 0,94. T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,47 \quad (19)$$

$$T_{5\text{ cm}} = 5,99 + 0,99. T_{\text{ar}} \quad r^2 = 0,45 \quad (20)$$

Onde:

$T_{\text{sup}}$  = temperatura mínima, em °C, na superfície do revestimento asfáltico;

$T_{2\text{ cm}}$  = temperatura mínima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 2 cm de profundidade;

$T_{5\text{ cm}}$  = temperatura mínima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade;

$T_{\text{ar}}$  = temperatura do ar, em °C;

Porém KILPP (2004) observou em seu estudo que se comparasse a temperatura da superfície do revestimento asfáltico com a temperatura das profundidades do mesmo, obteria modelos com uma correlação maior, pois estaria considerando a irradiação solar atuando sobre o pavimento, e através deste raciocínio que ela desenvolveu para o município de Ijuí as Equações 21 e 22 para determinar a temperatura máxima do revestimento nas profundidades 2 cm e 5 cm.

$$T_{2\text{ cm}} = -1,77 + 1,11. T_{\text{sup}} \quad r^2 = 0,89 \quad (21)$$

$$T_{5\text{ cm}} = -2,27 + 1,16. T_{\text{sup}} \quad r^2 = 0,80 \quad (22)$$

Onde:

$T_{2\text{ cm}}$  = temperatura máxima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 2 cm de profundidade;

$T_{5\text{ cm}}$  = temperatura máxima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade;

$T_{\text{sup}}$  = temperatura da superfície do revestimento asfáltico, em °C;

E as Equações 23 e 24 para determinar a temperatura mínima do revestimento nas mesmas profundidades para o município de Ijuí.

$$T_{2\text{ cm}} = 0,72 + 1,03 \cdot T_{\text{sup}} \quad r^2 = 0,98 \quad (23)$$

$$T_{5\text{ cm}} = 0,49 + 0,95 \cdot T_{\text{sup}} \quad r^2 = 0,92 \quad (24)$$

Onde na fórmula:

$T_{2\text{ cm}}$  = temperatura mínima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 2 cm de profundidade;

$T_{5\text{ cm}}$  = temperatura mínima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade;

$T_{\text{sup}}$  = temperatura da superfície do revestimento asfáltico, em °C;

Repetiu a mesma análise para o município de Sobradinho e elaborou as Equações 25 e 26 para determinar a temperatura máxima do revestimento nas profundidades 2 cm e 5 cm através da relação entre a variável temperatura da superfície do pavimento e a temperatura das profundidades analisadas.

$$T_{2\text{ cm}} = -1,92 + 1,13 \cdot T_{\text{sup}} \quad r^2 = 0,93 \quad (25)$$

$$T_{5\text{ cm}} = -2,57 + 1,18 \cdot T_{\text{sup}} \quad r^2 = 0,89 \quad (26)$$

Onde na fórmula:

$T_{2\text{ cm}}$  = temperatura máxima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 2 cm de profundidade;

$T_{5\text{ cm}}$  = temperatura máxima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade;

$T_{\text{sup}}$  = temperatura da superfície do revestimento asfáltico, em °C;

E as Equações 27 e 28 para determinar a temperatura mínima do revestimento nas mesmas profundidades.

$$T_{2\text{ cm}} = 0,24 + 1,04. T_{\text{sup}} \quad r^2 = 0,86 \quad (27)$$

$$T_{5\text{ cm}} = -0,30 + 1,08. T_{\text{sup}} \quad r^2 = 0,80 \quad (28)$$

Onde:

$T_{2\text{ cm}}$  = temperatura mínima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 2 cm de profundidade;

$T_{5\text{ cm}}$  = temperatura mínima, em °C, no interior do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade;

$T_{\text{sup}}$  = temperatura da superfície do revestimento asfáltico, em °C;

E for fim, KILPP (2004) elaborou dois modelos de previsão de temperatura, através dos dados coletados nos dois municípios, obtido através do conhecimento da temperatura do ar e da superfície do pavimento, onde com as Equações 29 e 30 consegue-se determinar a temperatura máxima e mínima, nesta ordem, em pavimentos localizados em regiões de clima Subtropical.

$$T_{\text{máx}} = -1,58 + 1,29. T_{\text{sup}} - 0,24. T_{\text{ar}} + 0,22. \text{Prof} \quad (29)$$

$$T_{\text{mín}} = 0,24 + 1,34. T_{\text{sup}} - 0,37. T_{\text{ar}} \quad (30)$$

Onde na fórmula:

$T_{\text{máx}}$  = temperatura máxima, em °C, do revestimento asfáltico;

$T_{\text{mín}}$  = temperatura mínima, em °C, do revestimento asfáltico;

$T_{\text{sup}}$  = temperatura, em °C, da superfície do revestimento asfáltico;

$T_{\text{ar}}$  = temperatura do ar, em °C;

Prof = profundidade, em cm, do revestimento asfáltico;

Após o levantamento dos modelos (fórmulas) oriundos dos estudos do ASPHALT INSTITUTE (1994) e os autores, KILPP (2004), MOTTA (1991), NÚÑEZ et al. (2003), Rodrigues apud Motta (1991) pode-se notar, que cada autor teve como base criar um modelo de previsão de temperatura no seu pavimento estudado, variando a profundidade no revestimento onde fez-se a medição, como também a busca da aprimoração nos dados obtidos através da implementação em seus



estudos de dados característicos da região, como a latitude, irradiação e delimitação de faixas de temperaturas que o revestimento do pavimento pode atingir.

### 3 METODOLOGIA

Para este estudo, a sua forma de abordagem ocorreu através de pesquisa do tipo quantitativa, onde os dados e resultados coletados por meio das medições foram posteriormente analisados por meio de técnicas estatísticas, através dos softwares Microsoft Office Excel 2010 e IBM® SPSS® Statistics Base.

Este método, como sua forma de análise de dados, já foi adotado em outros estudos já realizados nesta área com dados semelhantes aos confeccionados nesta pesquisa, entre eles estão os autores KILLP (2004), MOTTA (1991) e NÚÑEZ et al. (2003).

Este estudo realizou-se na rodovia ERS-422 no município de Venâncio Aires com a finalidade da obtenção de modelos que correlacionassem a temperatura do pavimento com a temperatura do ar em diferentes níveis de profundidade do pavimento.

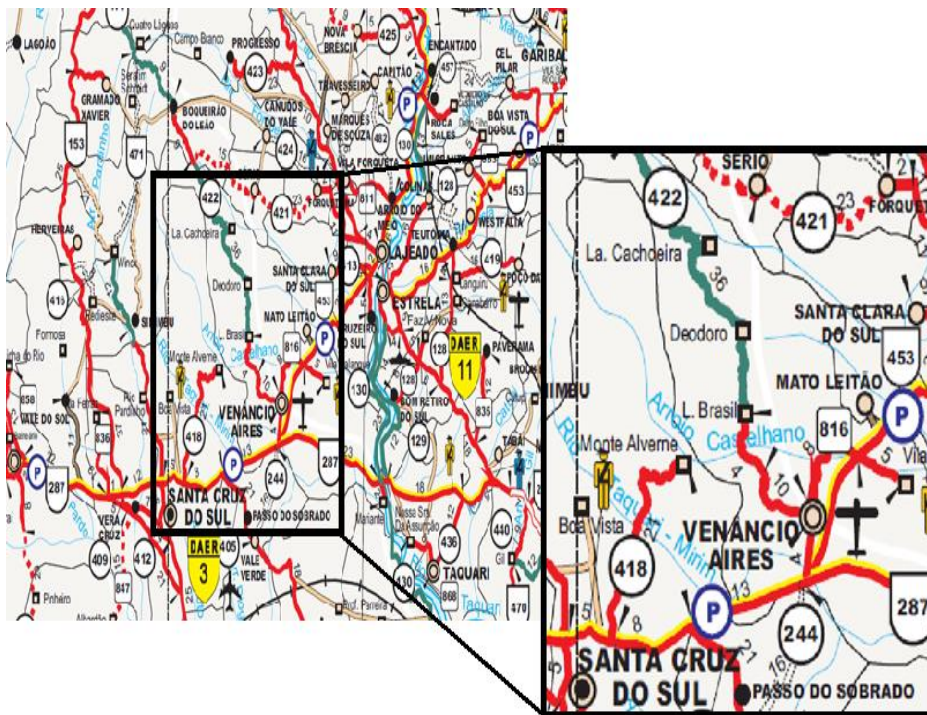
#### 3.1 Rodovia ERS-422

Este estudo foi realizado na rodovia estadual ERS-422 que liga os municípios de Venâncio Aires e Boqueirão do Leão, e tem o papel de auxiliar no escoamento da produção da região serrana do estado. Esta rodovia apresenta uma extensão total de 67,92 km, onde apenas um trecho na extensão de 45,17 km é pavimentado com revestimento asfáltico, conforme se pode ver representado em vermelho na Figura 7 referente ao mapa da extensão da rodovia.

A rodovia em questão apresenta esta nomenclatura de três caracteres e três algarismos, separados por um hífen, devido norma do DNIT. Portanto, por se tratar de uma rodovia localizada no estado do Rio Grande do Sul, o segundo e terceiro caractere são RS. Já o primeiro é o caractere E, devido ao fato de ser uma rodovia de domínio do estado.

Conforme DAER-RS e Prefeitura de Venâncio Aires (2015) a rodovia onde será feito o estudo, apresenta um revestimento de concreto usinado misturado a quente (CBUQ) com espessura de 7 cm; Base e Sub Base composta de Brita Graduada com espessura de 33,00 cm e subleito é constituído praticamente de argila.

**Figura 7 - Mapa Referente à Extensão e Localização da Rodovia ERS-422**



Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem - DAER (2015).<sup>7</sup>

### 3.2 Coleta de dados

Para a implementação deste estudo realizou-se a perfuração de 8 furos sobre o pavimento flexível com revestimento de CBUQ na rodovia ERS-422, no trecho localizado no perímetro urbana do município, onde é denominado de Rua Fernando Manoel Schwingel.

Estes furos serão divididos em dois pontos, na qual pode-se ver sua localização de acordo com a representação feita com o auxílio de uma imagem aérea na figura 8 na sequência deste trabalho.

No Ponto 1, na estaca km 67 + 000,00, os quatro furos ficaram num local da rodovia onde ficassem expostos ao sol, enquanto no Ponto 2, na estaca km 67 + 400,00 os outros quatro ficaram na sombra.

<sup>7</sup> Disponível em: <[http://www.daer.rs.gov.br/site/sistema\\_rodoviario\\_mapas.php](http://www.daer.rs.gov.br/site/sistema_rodoviario_mapas.php)> em arquivo no formato PDF. Acesso em 01 de junho de 2015.

**Figura 8 – Localização dos 2 Pontos onde foram coletadas as medições das temperaturas no pavimento**



Fonte: Google Earth (2015).

Executou-se a perfuração a 1 cm de profundidade, 3 cm de profundidade, 5 cm de profundidade e a 7 cm de profundidade em ambos os pontos da rodovia, em seu acostamento, com o auxílio de uma furadeira, conforme ilustra as Figuras 9, 10 e 11. Além destes quatro pontos, mediu-se a temperatura da superfície deste pavimento em um ponto exposto ao sol e outra à sombra, com o auxílio de um pirômetro óptico, mais conhecido como termômetro laser.

**Figura 9 - Perfuração do revestimento asfáltico**



Fonte: Autor (2015).

**Figura 10 - Ponto 1 (ao sol) com os respectivos furos na rodovia**



Fonte: Autor (2015).

**Figura 11 - Ponto 2 (na sombra) com os respectivos furos na rodovia**



Fonte: Autor (2015).

As leituras das temperaturas ocorreram entre os meses de abril a junho do ano de 2015, nos seguintes dias: 15 de abril, 02 de maio e 19 de junho, assim abrangendo toda a estação outono do ano. As leituras das temperaturas foram realizadas de duas em duas horas, tanto na superfície, como a 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm de profundidade, segundo ilustram as Figuras 12, 13, 14, 15 e 16 a seguir.

**Figura 12 - Coleta da temperatura na superfície do revestimento do pavimento**



Fonte: Autor (2015).

**Figura 13 - Coleta da temperatura no revestimento do pavimento a 1 cm de profundidade**



Fonte: Autor (2015).

**Figura 14 - Coleta da temperatura no revestimento do pavimento a 3 cm de profundidade**



Fonte: Autor (2015).

**Figura 15 - Coleta da temperatura no revestimento do pavimento a 5 cm de profundidade**



Fonte: Autor (2015).



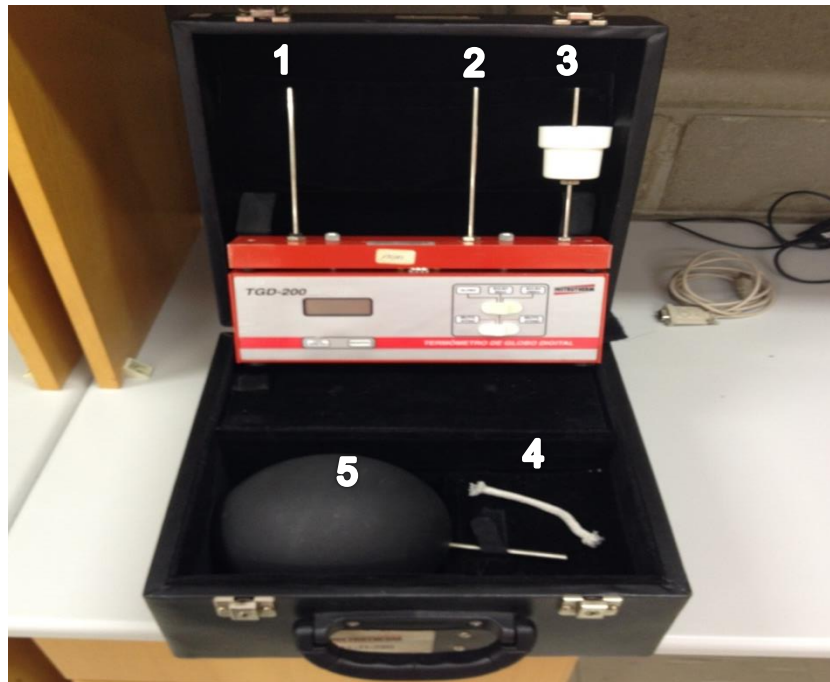
**Figura 16 - Coleta da temperatura no revestimento do pavimento a 7 cm de profundidade**



Fonte: Autor (2015).

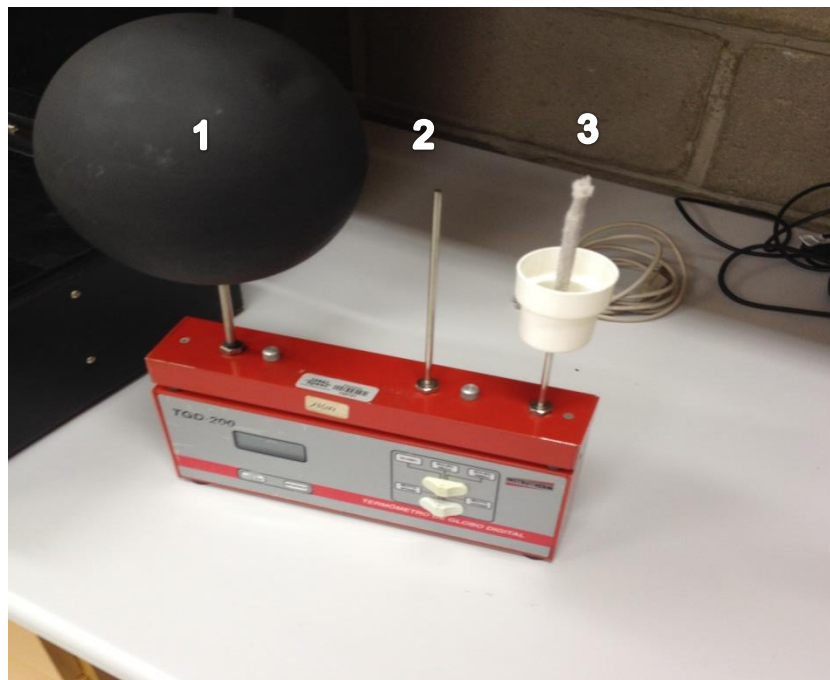
O levantamento da temperatura do ar ocorreu através do termômetro globo, onde este foi posicionado no lado da pista com um auxílio de um tripé. O termômetro consiste em três termômetros (“agulhas”): a primeira (1) coloca-se o globo preto (5), responsável por captar os raios solares, a segunda (2) fica responsável por captar a temperatura ambiente e terceira (3), tem a ela acoplado um tubo branco, onde se coloca um capilar branco (4), com a finalidade de captar a umidade do ar, por isso, se faz necessário o preenchimento com água destilada dentro do tubo para se conseguir o levantamento da temperatura real do ar, como pode-se ver nas Figuras 17, 18, 19 e 20.

**Figura 17 - Termômetro globo e seus componentes**



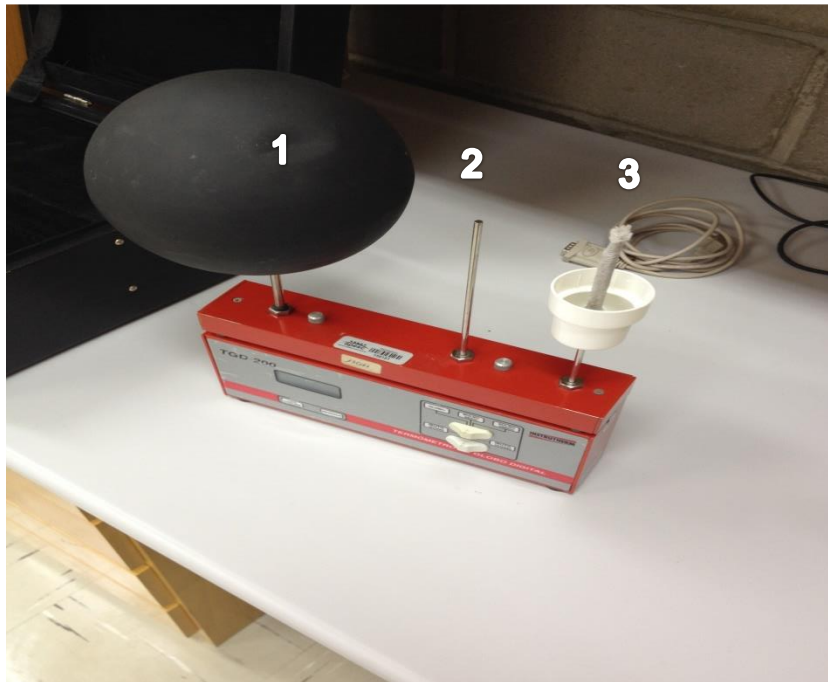
Fonte: Autor (2015).

**Figura 18 – Termômetro montado com o globo preto no termômetro 1 e o capilar colocado no termômetro 3**



Fonte: Autor (2015).

**Figura 19 – Termômetro montado e adicionado água destilada na agulha 3 para levantamento da temperatura real do ar**



Fonte: Autor (2015).

**Figura 20 – Termômetro montado e instalado com o auxílio de um tripé para fins de levantamento**



Fonte: Autor (2015).

### 3.3 Materiais utilizados

Para efetuar este estudo e obter os dados necessários para posterior análise, utilizou-se de um termômetro tipo espeto digital, com uma haste de 127 mm, conforme ilustra Figura 21 a seguir. Apresenta resolução de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , capaz de realizar medições na faixa de  $-45^{\circ}\text{C}$  a  $230^{\circ}\text{C}$ , apresentando uma exatidão de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  na faixa de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 21 - Termômetro Tipo Espeto Digital**



Fonte: sitio da Incoterm - Soluções em medição (2015).<sup>8</sup>

Para a medição da temperatura superficial do pavimento utilizou-se um pirômetro óptico, mais conhecido como termômetro infravermelho, capaz de medir a temperatura superficial de um objeto, sem contato com o mesmo, conforme Figura 22. Este equipamento apresenta capacidade de realizar medições na faixa de temperatura que varia de  $-32^{\circ}\text{C}$  a aproximadamente  $150^{\circ}\text{C}$ ; com precisão de  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ; resolução de  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

---

<sup>8</sup> Disponível em: <<http://www.incoterm.com.br/tecnica/termometro+digital+tipo+espeto+c+capa+protectora+6132>>. Acesso em 31 de maio de 2015.

**Figura 22 - Pirômetro Óptico**

Fonte: Site da empresa Alibaba.com (2015).<sup>9</sup>

Já para a medição da temperatura do ar, foi empregado o termômetro globo, segundo mostra Figura 9, onde este apresenta resolução de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , precisão de  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  no último dígito significativo, e com a capacidade de realizar leituras de temperaturas na faixa de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 23 - Termômetro globo digital**

Fonte: Sítio da empresa Termolaf (2015).<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> Disponível em: <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/digital-smart-sensor-infrared-industrial-pyrometer-s-hw1150--501032488.html>. Acesso em 29 de outubro de 2015.

E por fim, para a confecção dos furos utilizou-se uma furadeira da marca Bosch® 400 W, com mandril de 3/8" (10mm), sendo utilizado uma broca de 8mm para a realização dos furos sobre o pavimento asfáltico.

Com o auxílio destes equipamentos, os dados coletados para este estudo, foram referentes à temperatura do ar, temperatura da superfície do pavimento, este exposto ao sol, como na sombra, e as temperaturas no interior da camada asfáltica, nas profundidades de 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm.

Tal levantamento ocorreu em seis horários do dia, onde seu início ocorreu as 09h00min no ponto 1 e as 09h10min no ponto 2 e, posteriormente de duas em duas horas, até finalizá-lo as 19h00min e 19h10min, no ponto 1 e 2, respectivamente, onde ocorreu a última leitura das temperaturas nos dois pontos.

Desta forma obteve-se um estudo de forma padronizada, com um banco de dados de grande relevância para se conseguir expressar o desempenho do pavimento flexível no que diz respeito aos fatores climáticos ali presentes que estão atuando sobre esta rodovia.

### 3.5 Pós-coleta de dados

Após com o uso do software Microsoft Office Excel pegou-se todos as temperaturas levantadas nos três dias para cada caso, tanto para superfície (0 cm), como também nas profundidades 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm e correlacionou cada caso (grupo de dados) com a temperatura do ar, sendo que tal correlação ocorreu para o ponto exposto ao sol, como para o ponto na sombra, assim gerando um modelo de previsão de temperatura máxima e mínima para a superfície do pavimento, a 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm de profundidade, através de uma regressão linear<sup>11</sup> simples, com o seu respectivo coeficiente de determinação<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> Disponível em: <<http://www.termolaf.com.br/053.asp>>. Acesso em 29 de maio de 2015.

<sup>11</sup> Regressão linear é a equação da reta que melhor se enquadra aos pontos das variáveis e tem como principal finalidade estimar valores futuros de uma variável dependente através de valores familiares de outras variáveis independentes, tornando o modelo mais realista ao caso, uma vez que a correlação quantifica a intensidade da relação entre as variáveis, e regressão tem o intuito de explicar essa relação por meio de uma equação, de acordo com TIBONI (2010) e MARTINS (2014).

<sup>12</sup> O coeficiente de determinação, ou de correlação ( $R^2$ ), também conhecido como coeficiente de correlação de Pearson, nada mais é do que, uma forma de ver se sua fórmula (modelo) consegue explicar os valores observados no levantamento, onde quanto mais próximo de 1,0 ou de -1,0, ou 100% e -100% melhor seu modelo sabe esclarecer o caso, pois segundo MARTINS (2015) coeficientes na faixa de  $0,9 \leq r < 1,0$  apresentam alta ou ótima correlação;  $0,8 \leq r < 0,9$  boa correlação e  $0,6 \leq r < 0,8$  média correlação.

Lembrando: Quando se diz, obter um modelo para saber a temperatura máxima do revestimento do pavimento asfáltico, quer dizer, obter a maior temperatura que este poderá registrar através do conhecimento do dado: temperatura do ar ou da superfície do revestimento asfáltico. Já o modelo para prever a temperatura mínima é o inverso, pois este irá informar a menor temperatura que o revestimento do pavimento asfáltico poderá registrar, através do conhecimento de um dos dados já citados anteriormente.

Posteriormente, para fins de obter um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que esclarecesse melhor os resultados coletados com o levantamento, resolveu-se comparar os dados coletados nas profundidades 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm e correlacionar cada caso (grupo de dados) com a temperatura da superfície do pavimento asfáltico (0 cm), uma vez que a irradiação solar atua diretamente sobre a pista.

Em seguida com o banco de dados gerado através do levantamento amostral, ajustou-se em modelo de previsão da temperatura máxima e mínima para o pavimento flexível de revestimento asfáltico localizado no município de Venâncio Aires. Para desenvolver esse modelo, criou-se através do software IBM® SPSS® *Statistics Base*, juntamente com o Núcleo de Pesquisa Social (NUPES) da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) e, com auxílio do Estatístico Renato Michel, um modelo de regressão pela profundidade.

Neste modelo de regressão linear múltipla, o dado de entrada é uma variável categórica, neste caso, as profundidades de 1 cm, 3 cm, 5 cm, e 7 cm de profundidade, pois considera-se as profundidades para quais queira-se saber qual é a temperatura, assim tem-se 4 categorias, mas não considera-se o valor em si, pois são 4 profundidades diferentes, e para incluir esta informação no modelo de regressão entra-se no software com uma variável *dummy*<sup>13</sup> que ela é [0,1], Onde por exemplo, quando a profundidade é 1 cm, coloca-se 1 para ela e zero para as demais profundidades, e assim ocorre para as outras profundidades, como pode-se ver na matriz demonstrativa abaixo.

---

<sup>13</sup> Segundo Missio e Jacobi (2007), a variável *dummy* ela é explicativa, onde admite apenas dois valores: 0 e 1. Onde a presença é indicada pelo algarismo um (1) e sua ausência por zero (0) do atributo. A inserção de variáveis categóricas (*dummy*) faz com que o modelo de regressão linear seja um meio extremamente flexível, onde consegue lidar com muitos problemas encontrados, geralmente, em estudos empíricos. Nada mais é do que fazer uma regressão linear múltipla em partes.

$$\begin{array}{c}
 1 \quad 3 \quad 5 \quad 7 \\
 1 \left| \begin{array}{cccc} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 1 \\ 7 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Como tem-se 4 categorias, sempre irá usar-se 3 variáveis, assim desconsiderando a primeira coluna, pois a profundidade a 1 cm, será usada de referência no cálculo, ou seja, [0 0 0] se refere a profundidade de 1cm; [1 0 0] se refere a profundidade 3 cm; [0 1 0] se refere a profundidade 5 cm e; [0 0 1] se refere a profundidade 7 cm. Assim, gerar-se um modelo, conforme Equação 31 abaixo:

$$y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 \quad (31)$$

Onde:

y = variável dependente;

a = constante (coeficiente angular da reta de regressão);

b = coeficientes referentes às minhas variáveis independentes (valor constante).

x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub>, x<sub>4</sub> e x<sub>5</sub> = variáveis independentes.

Assim para nosso caso, resultando a Equação 32:

$$y = a + b_1 \cdot T_{sup} + b_2 \cdot T_{ar} + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 \quad (32)$$

a = uma constante que vai ser calculado pelo modelo;

b<sub>1</sub>= um coeficiente referente a temperatura da superfície;

b<sub>2</sub> = um coeficiente referente a temperatura do ar;

b<sub>3</sub> = um coeficiente referente a temperatura na profundidade de 3cm;

b<sub>4</sub> = um coeficiente referente a temperatura na profundidade de 5 cm;

b<sub>5</sub> = um coeficiente referente a temperatura na profundidade de 7 cm;

T<sub>sup</sub> = refere-se à temperatura na superfície do pavimento (seria o nosso x<sub>1</sub>);

T<sub>ar</sub> = refere-se à temperatura do ar próximo ao pavimento (seria nosso x<sub>2</sub>);



$x_3$  = dados referentes a variável independente temperatura na profundidade de 3cm;

$x_4$  = dados referentes a variável independente temperatura na profundidade de 5cm;

$x_5$  = dados referentes a variável independente temperatura na profundidade de 7cm;

Sendo que estes coeficientes são gerados pelo software ao alimentá-lo com a codificação anteriormente apresentada e a profundidade a 1 cm, não aparece na equação porque usou-se ela como referência ao meu cálculo.

Porém ao revisar a bibliografia existente, esta diz que, variáveis independentes com alta correlação não devem ser colocadas juntas num mesmo modelo de regressão, pois estar-se-ia trabalhando com variáveis que são altamente colineares<sup>14</sup>.

Assim, adota-se apenas uma delas no momento de confeccionar os modelos, onde na Equação 33 utilizou-se apenas a variável independente temperatura da superfície do revestimento asfáltico e, na Equação 34 adotou-se a temperatura do ar como a variável independente, conforme segue abaixo.

$$y = a + b_1 \cdot T_{sup} + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 \quad (33)$$

$$y = a + b_1 \cdot T_{ar} + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 \quad (34)$$

$a$  = uma constante que vai ser calculado pelo modelo;

$b_1$  = um coeficiente referente a temperatura da superfície;

$b_2$  = um coeficiente referente a temperatura na profundidade de 3cm;

$b_3$  = um coeficiente referente a temperatura na profundidade de 5 cm;

$b_4$  = um coeficiente referente a temperatura na profundidade de 7 cm;

$T_{sup}$  = refere-se à temperatura na superfície do pavimento (seria o nosso  $x_1$ );

$T_{ar}$  = refere-se à temperatura do ar próximo ao pavimento (seria nosso  $x_2$ );

$x_3$  = dados referentes a variável independente temperatura na profundidade de 3cm;

---

<sup>14</sup> Colinearidade: responsável por indicar a existência de forte correlação entre as variáveis independentes do meu estudo de caso.

$x_4$  = dados referentes a variável independente temperatura na profundidade de 5cm;

$x_5$  = dados referentes a variável independente temperatura na profundidade de 7cm;

Ao rodar o caso no software IBM® SPSS® *Statistics Base*, este gerou modelos de regressão para prever a temperatura máxima e mínima no município de Venâncio Aires, através da temperatura do ar e da temperatura superficial, onde apresentou os respectivos coeficientes referentes a cada variável independente (as profundidades). Mas deve-se lembrar de que quando variáveis apresentam coeficientes com Algarismos próximos de zero, estes são considerados como valores insignificantes, pois os mesmos não são considerados diferentes de zero estatisticamente, assim diz que as variáveis profundidade não estão predizendo à temperatura máxima e mínima do pavimento, fazendo o efeito profundidade não ser significativo para aplicar a um modelo geral (mas para uma amostra sim).

Lembrando: Em estatística tem-se uma população (pavimentos no município de Venâncio Aires), e retira-se da população uma amostra (pavimento analisado e coletado os dados) que deve representar a população, vista disso que selecionou-se dois pontos (ao sol e na sombra), em várias profundidades distintas e se repetiu várias vezes a medição de uma amostragem da população, para através dos resultados obtidos desta amostra, fazer-se o teste estatístico, onde ver-se-á sua validação para a toda a população, ou seja, ver se estas variáveis são estatisticamente significante. Assim, na amostra ter-se-á diferença, mas não estatisticamente para o modelo geral, para calcular no âmbito do município de Venâncio Aires.

Posteriormente, se desenvolveu dois modelos de previsão de temperatura máxima e mínima do pavimento, válida para qualquer profundidade de 0 a 7 cm, onde um deles leva em consideração a temperatura na superfície do pavimento e o outro a temperatura do ar (as duas variáveis que estão relativamente predizendo a temperatura), onde agora se eliminou as variáveis independentes (profundidade).

E por fim, após os modelos gerados, comparou-os com os modelos existentes na literatura, com a finalidade de aplicabilidade destes para fins de estudo no município, sendo este comparativo realizado com o auxílio do software Microsoft Office Excel, num intervalo de temperatura entre 7 °C a 32 °C para a variável

temperatura do ar e para a temperatura do pavimento fez-se entre 8 °C a 48 °C, pois foi nesta faixa de valores os observados *in loco*.

## **4 DADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Após a realização da coleta da temperatura do ar, na superfície do revestimento do pavimento e nos demais quatro níveis de profundidade propostos nos dois pontos (um no sol e outro na sombra), realizou-se a interpretação dos dados coletados, analisando-se o comportamento térmico que atua nas diferentes profundidades do revestimento asfáltico, para posteriormente formular os modelos de previsão para cada profundidade.

### **4.1 Análises do comportamento térmico das camadas asfálticas ao decorrer do dia**

Após o levantamento de dados, através de gráficos e tabelas, observou-se o comportamento térmico nas diferentes profundidades do revestimento asfáltico ao decorrer do dia, notou-se uma significativa diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima registradas neste período das 09:00 horas até as 19:00 horas entre o pavimento e o ar, sendo esta amplitude térmica observada com maior intensidade nas medições realizadas no turno da tarde.

Observa-se que nas primeiras horas da manhã a temperatura registrada do ar é próxima e geralmente superior a temperatura superficial do pavimento, porém como já esperado, no turno da tarde, nota-se uma amplitude entre a temperatura do ar apurada em relação a da superfície do pavimento asfáltico, como pode ser visto nos Gráficos 1 e 2, em decorrência da insolação incidente sobre a superfície da pista.

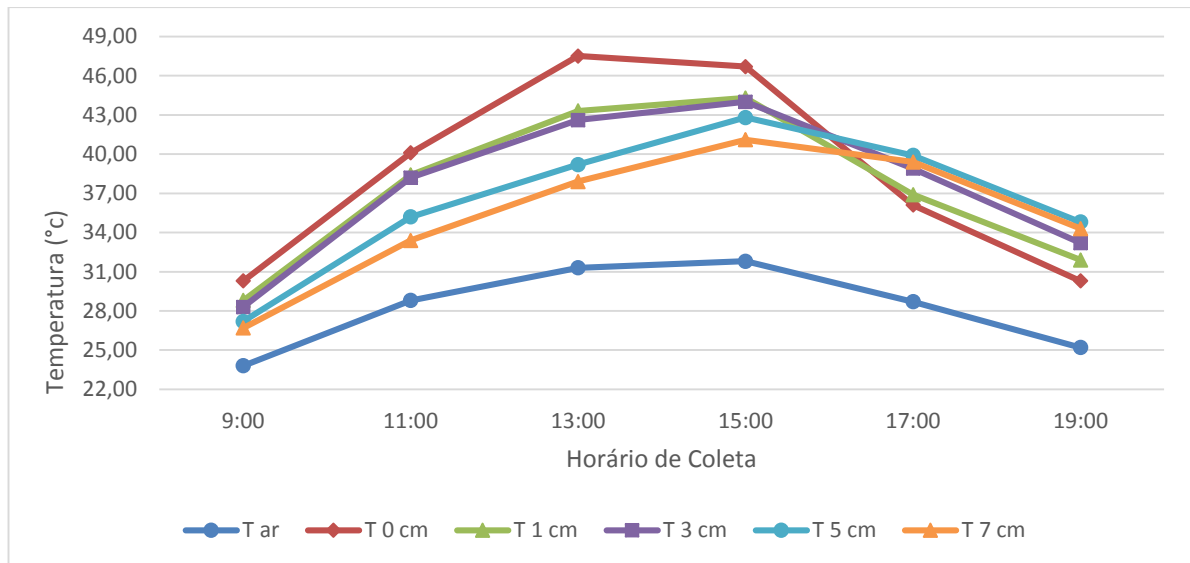
Como toca-se no assunto insolação, pode-se ver a interferência da radiação solar atuando sobre a temperatura superficial do pavimento, como pode-se observar os gradientes térmicos levantados em 02 de maio e 19 de junho de 2015, conforme mostrado nos Gráficos 2 e 3, para o ponto ao sol.

Percebe-se que nas primeiras horas do dia as temperaturas nas profundidades de 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm de profundidade é maior que a temperatura da superfície do pavimento (0 cm). Com a elevação da temperatura do ar, a temperatura da superfície passa a ser maior que as temperaturas nas profundidades 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm. A temperatura do pavimento na superfície e nas demais profundidades ocorre uma elevação até o levantamento das 13:00

horas. Já no levantamento das 15:00 horas notou-se a inversão, pois as maiores temperaturas foram registradas nas profundidade 3cm, 5cm e 7cm em relação a temperatura levantada na superfície do pavimento.

O levantamento realizado em 04 de abril de 2015 não se difere em relação as características citadas na análise do levantamento realizado nos dias 02 de maio e 19 de junho de 2015, e sim, se nota que a temperatura superficial do pavimento já encontra-se maior que as demais camadas no primeiro levantamento, conforme Gráfico 1, mas isto é devido a constantes dias de temperatura elevadas, e assim a que superfície chegava entrar no processo de resfriar definitivo, este já recebia novamente a carga de irradiação e, por consequência, gerava um processo de inversão mais tardio, pois este ocorreu apenas no levantamento das 17:00 horas e com maior significância se comparado aos outros dois dias que se realizou a coleta de temperatura neste mesmo ponto.

**Gráfico 1 - Temperaturas coletadas no ponto 1 em 04 de abril de 2015**

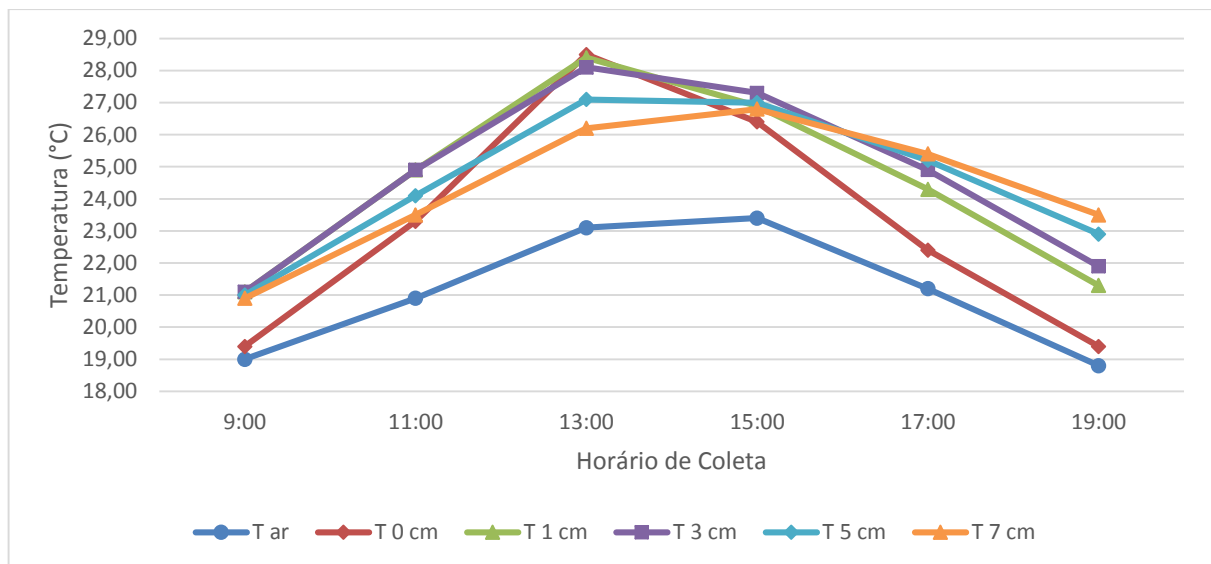


Fonte: Autor (2015).

**Tabela 2 - Coleta de Temperaturas no Ponto 1 em 04 de abril de 2015**

Coletado em 04 de abril de 2015		Horário do levantamento e respectiva temperatura					
		9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
Ponto 1	T ambiente	23,80	28,80	31,30	31,80	28,70	25,20
PROFUNDIDADE	0 cm	30,30	40,10	47,50	46,70	36,10	30,30
	1 cm	28,80	38,40	43,30	44,30	36,90	31,90
	3 cm	28,30	38,20	42,60	44,00	38,90	33,20
	5 cm	27,20	35,20	39,20	42,80	39,90	34,80
	7 cm	26,70	33,40	37,90	41,10	39,40	34,30

Fonte: Autor (2015).

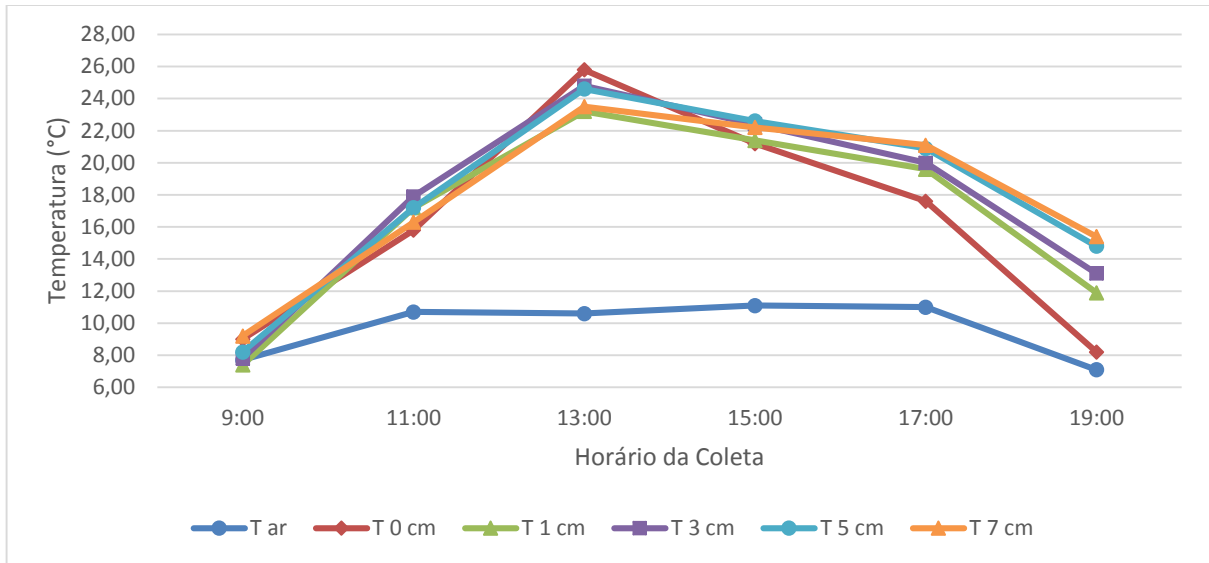
**Gráfico 2 - Temperaturas coletadas no ponto 1 em 02 de maio de 2015**

Fonte: Autor (2015).

**Tabela 3 - Coleta de Temperaturas no Ponto 1 em 02 de maio de 2015**

Coletado em 02 de maio de 2015		Horário do levantamento e respectiva temperatura					
		9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
Ponto 1	T ambiente	19,00	20,90	23,10	23,40	21,20	18,80
PROFUNDIDADE	0 cm	19,40	23,30	28,50	26,40	22,40	19,40
	1 cm	21,10	24,90	28,40	26,90	24,30	21,30
	3 cm	21,10	24,90	28,10	27,30	24,90	21,90
	5 cm	21,00	24,10	27,10	27,00	25,20	22,90
	7 cm	20,90	23,50	26,20	26,80	25,40	23,50

Fonte: Autor (2015).

**Gráfico 3 - Temperaturas coletadas no ponto 1 em 19 de junho de 2015**

Fonte: Autor (2015).

**Tabela 4 - Coleta de Temperaturas no Ponto 1 em 19 de junho de 2015**

Coletado em 19 de junho de 2015		Horário do levantamento e respectiva temperatura					
		9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
Ponto 1	T ambiente	7,70	10,70	10,60	11,10	11,00	7,10
PROFUNDIDADE	0 cm	9,00	15,80	25,80	21,20	17,60	8,20
	1 cm	7,40	17,20	23,20	21,40	19,60	11,90
	3 cm	7,80	17,90	24,80	22,40	20,00	13,10
	5 cm	8,20	17,20	24,60	22,60	20,90	14,80
	7 cm	9,20	16,30	23,50	22,20	21,10	15,40

Fonte: Autor (2015).

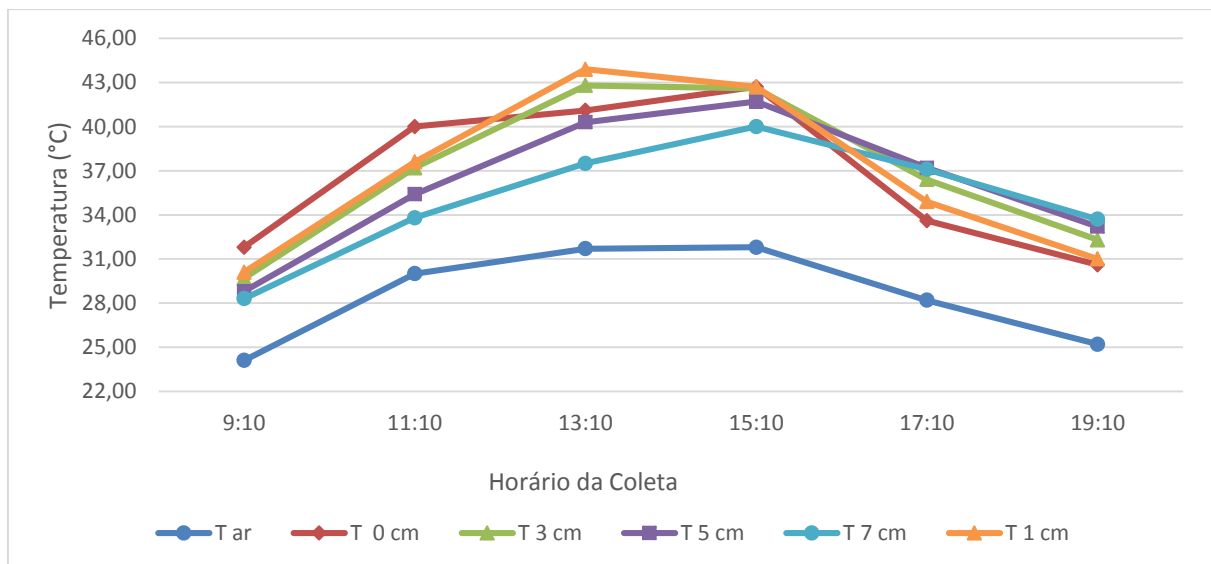
Esta inversão observada nos três dias de levantamento tem uma simples explicação, pois uma vez que ocorre o processo de resfriamento do ar, este resulta na redução da irradiação solar, e dado que a superfície se encontra exposta diretamente com o ar, esta tende a entrar no processo de resfriamento mais rápido que as demais profundidades, que ainda estão em processo de absorver a irradiação dissipada pela superfície ao decorrer do dia.

Não podendo esquecer que quanto maior for à profundidade da camada do pavimento, mais lento será o processo de resfriamento. Esta mesma sequência ocorre para o aquecimento, em razão de que, com a elevação da temperatura do ar, a temperatura superficial do pavimento tende a ascender rapidamente, no mesmo

tempo que, os pontos localizados nas regiões mais profundas do pavimento asfáltico se aquecem mais devagar.

O mesmo levantamento ocorreu com um ponto localizado na sombra, e as análises levantadas para ponto 1 (ao sol) não diferem para o ponto 2 (na sombra), pois a irradiação também atua sobre a superfície localizada na sombra, porém com menor intensidade, e como o restante do pavimento está exposto ao sol, acaba recebendo parte desta irradiação também, por isso que as temperaturas levantadas no ponto 2 são inferiores as apuradas no ponto 1, como esperado.

**Gráfico 4 - Temperaturas coletadas no ponto 2 em 04 de abril de 2015**



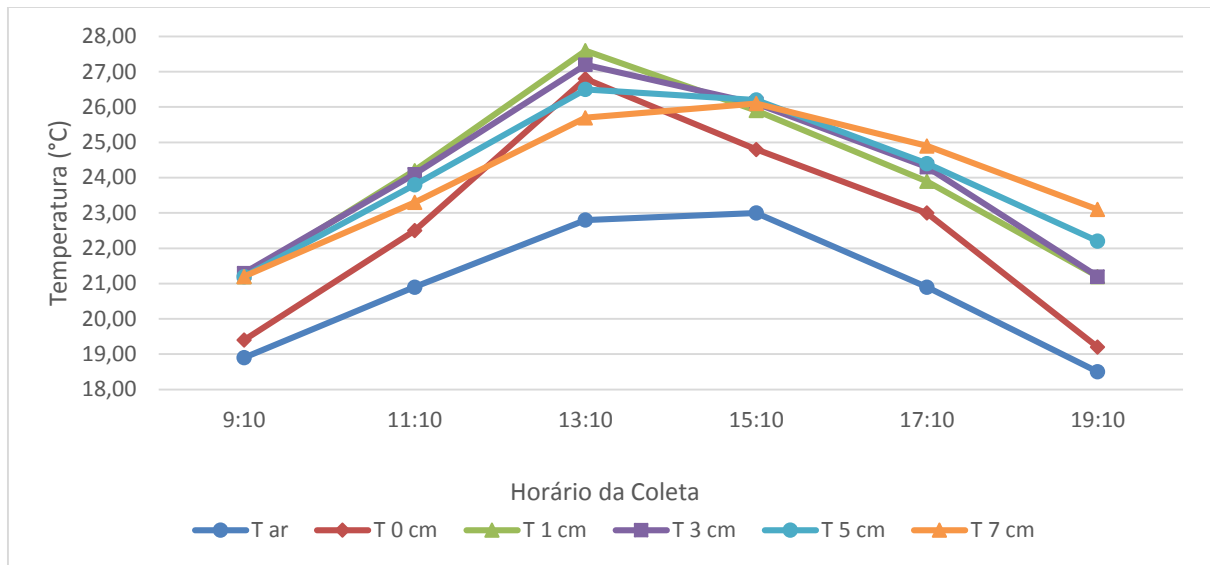
Fonte: Autor (2015).

**Tabela 5 - Coleta de Temperaturas no Ponto 2 em 04 de abril de 2015**

Coletado em 04 de abril de 2015		Horário do levantamento e respectiva temperatura					
		9:10	11:10	13:10	15:10	17:10	19:10
Ponto 2	T ambiente	24,10	30,00	31,70	31,80	28,20	25,20
PROFUNDIDADE	0 cm	31,80	40,00	41,10	42,70	33,60	30,60
	1 cm	30,10	37,60	43,90	42,70	34,90	31,00
	3 cm	29,70	37,20	42,80	42,60	36,40	32,30
	5 cm	28,80	35,40	40,30	41,70	37,20	33,20
	7 cm	28,30	33,80	37,50	40,00	37,10	33,70

Fonte: Autor (2015).



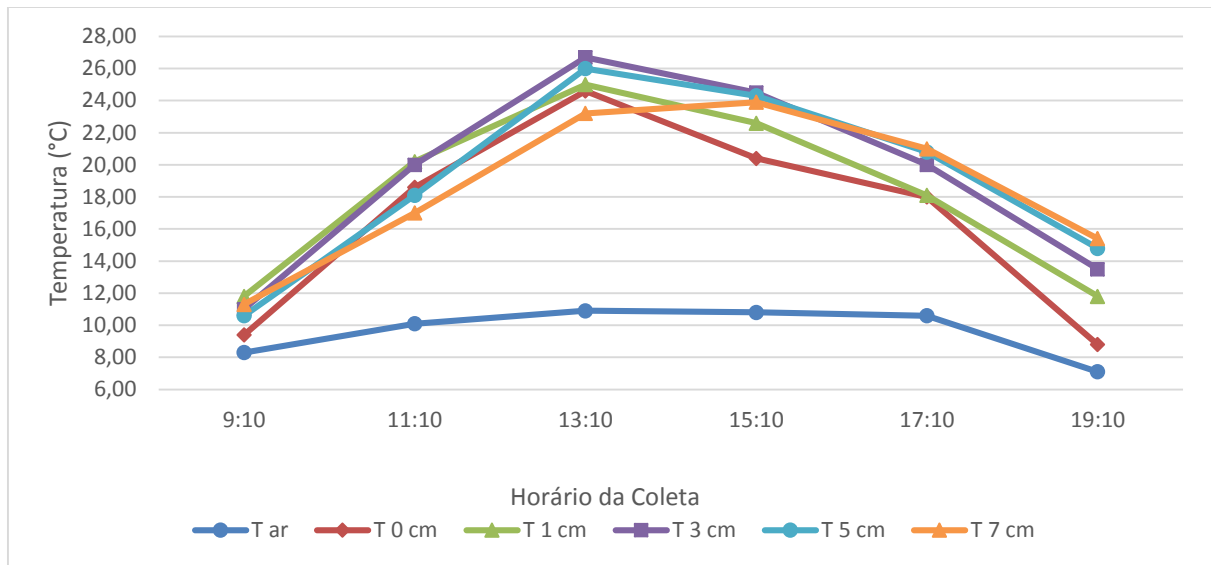
**Gráfico 5 - Temperaturas coletadas no ponto 2 em 02 de maio de 2015**

Fonte: Autor (2015).

**Tabela 6 - Coleta de Temperaturas no Ponto 2 em 02 de maio de 2015**

Coletado em 02 de maio de 2015		Horário do levantamento e respectiva temperatura					
		9:10	11:10	13:10	15:10	17:10	19:10
Ponto 2	T ambiente	18,90	20,90	22,80	23,00	20,90	18,50
	0 cm	19,40	22,50	26,80	24,80	23,00	19,20
	1 cm	21,20	24,20	27,60	25,90	23,90	21,20
	3 cm	21,30	24,10	27,20	26,10	24,30	21,20
	5 cm	21,20	23,80	26,50	26,20	24,40	22,20
	7 cm	21,20	23,30	25,70	26,10	24,90	23,10

Fonte: Autor (2015).

**Gráfico 6 - Temperaturas coletadas no ponto 2 em 19 de junho de 2015**

Fonte: Autor (2015).

**Tabela 7 - Coleta de temperaturas no ponto 2 em 19 de junho de 2015**

Coletado em 19 de junho de 2015		Horário do levantamento e respectiva temperatura					
		9:10	11:10	13:10	15:10	17:10	19:10
Ponto 2	T ambiente	8,30	10,10	10,90	10,80	10,60	7,10
PROFUNDIDADE	0 cm	9,40	18,60	24,60	20,40	18,00	8,80
	1 cm	11,80	20,20	25,00	22,60	18,10	11,80
	3 cm	11,00	20,00	26,70	24,50	20,00	13,50
	5 cm	10,60	18,10	26,00	24,30	20,80	14,80
	7 cm	11,30	17,00	23,20	23,90	21,00	15,40

Fonte: Autor (2015).

#### 4.2 Modelos de temperatura do pavimento em função temperatura do ar

Com a coleta de dados concluída, através do software Microsoft Office Excel 2010, desenvolveram-se fórmulas (modelos) com o intuito de prever a temperatura máxima, com os pontos expostos ao sol e a temperatura mínima, através dos pontos na sombra. Para os dois casos obteve-se modelos que preveem a temperatura superficial do pavimento asfáltico, como a temperatura a 1cm, 3cm, 5cm e 7 cm de profundidade.

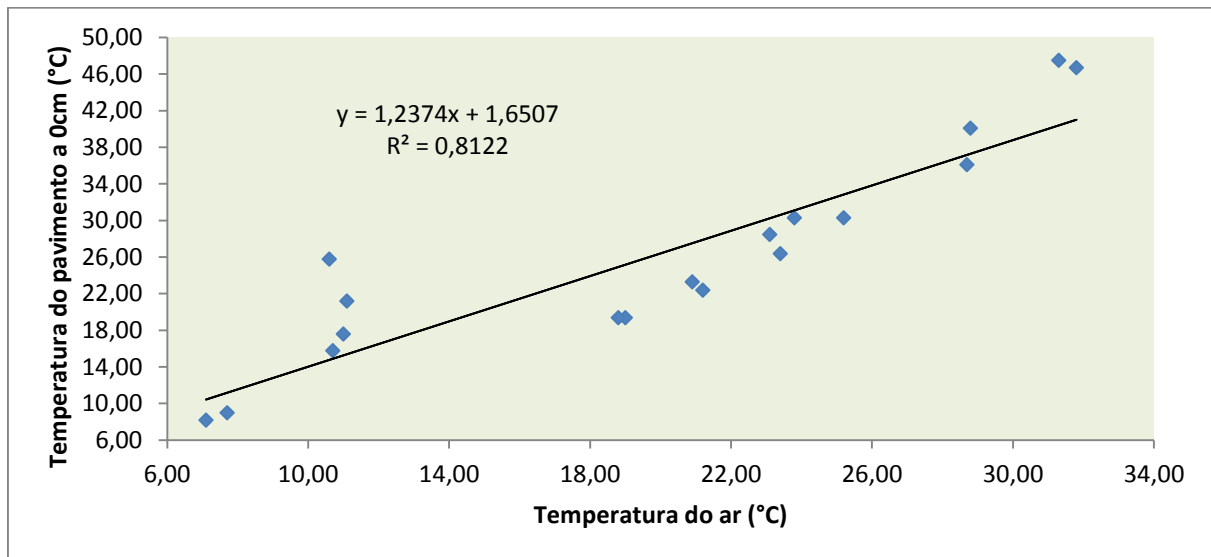
#### 4.2.1 Temperatura Máxima

Com os dados coletados nos três dias de levantamento, confeccionou-se um modelo de previsão de temperatura máxima em relação à temperatura do ar, através dos dados obtidos no ponto exposto ao sol para a superfície do pavimento, 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm de profundidade para esta amostra, como pode-se ver nas Equações 35, 36, 37, 38 e 39, através dos Gráficos 7, 8, 9, 10 e 11, a seguir.

Ao gerar o modelo que prevê a temperatura máxima na superfície do revestimento através da temperatura do ar, obtém-se a Equação 35 com coeficiente de correlação no valor de  $r^2$  0,8122, que nos diz que este modelo apresenta uma boa correlação positiva entre as variáveis analisadas, como se pode ver no Gráfico 7.

$$T_{\text{sup}} = 1,2374 \cdot T_{\text{ar}} + 1,6507 \quad (35)$$

**Gráfico 7 - Temperatura do ar em função da temperatura na superfície do pavimento (ao sol)**

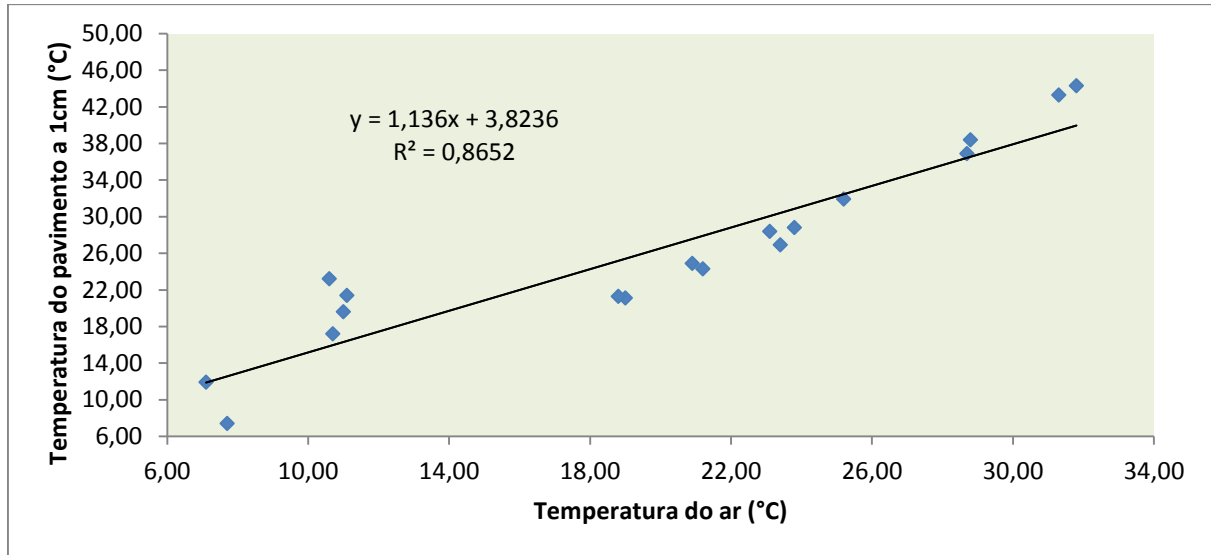


Fonte: Autor (2015).

Em seguida, se gerou o modelo que prevê a temperatura máxima do revestimento a 1 cm, através da temperatura do ar, onde obteve-se a Equação 36 com coeficiente de correlação no valor de  $r^2$  0,8652, dizendo que este modelo apresenta uma boa correlação positiva entre as variáveis analisadas, como pode-se ver no Gráfico 8.

$$T_{1\text{ cm}} = 1,136 \cdot T_{\text{ar}} + 3,8236 \quad (36)$$

**Gráfico 8 - Temperatura do ar em função da temperatura a 1 cm de profundidade (ao sol)**

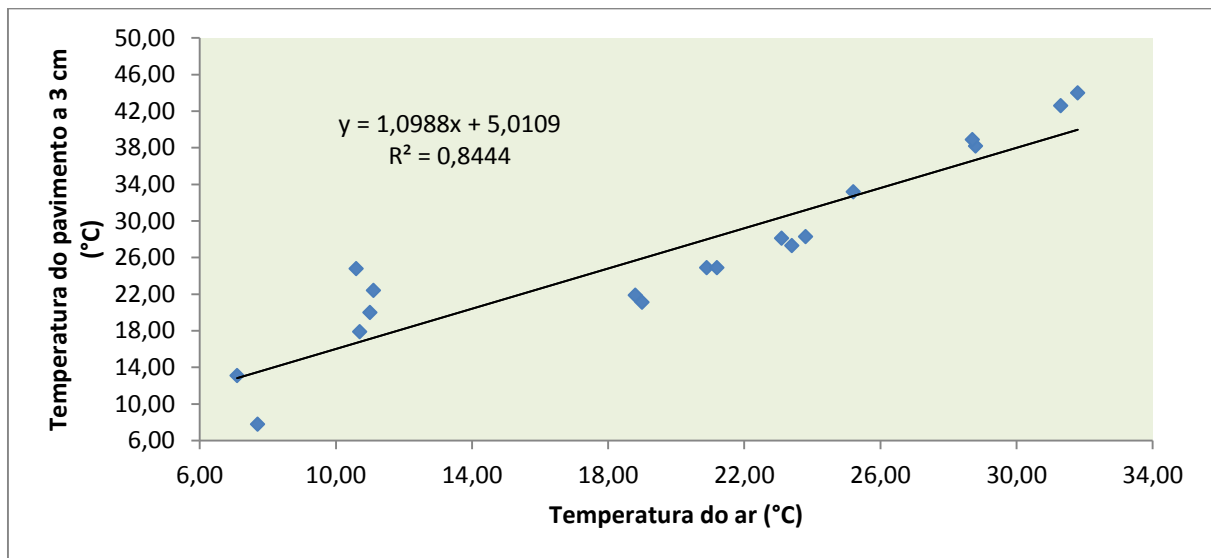


Fonte: Autor (2015).

O mesmo se procedeu para a profundidade de 3 cm, onde gerou a Equação 37, com um coeficiente de correlação bom no valor de 0,8444, conforme Gráfico 9.

$$T_{3\text{ cm}} = 1,0988 \cdot T_{\text{ar}} + 5,0109 \quad (37)$$

**Gráfico 9 - Temperatura do ar em função da temperatura a 3 cm de profundidade (ao sol)**

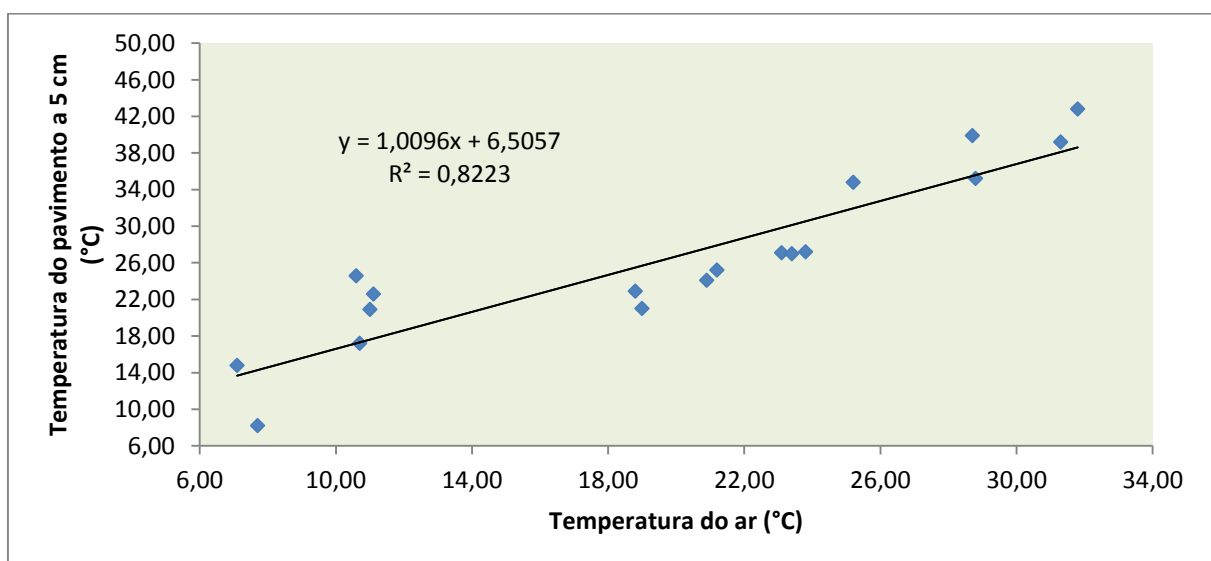


Fonte: Autor (2015).

Para a profundidade de 5 cm, se gerou uma Equação 38, com um coeficiente de correlação novamente bom no valor de 0,8223, conforme Gráfico 10.

$$T_{5\text{ cm}} = 1,0096 \cdot T_{\text{ar}} + 6,5057 \quad (38)$$

**Gráfico 10 - Temperatura do ar em função da temperatura a 5 cm de profundidade (ao sol)**

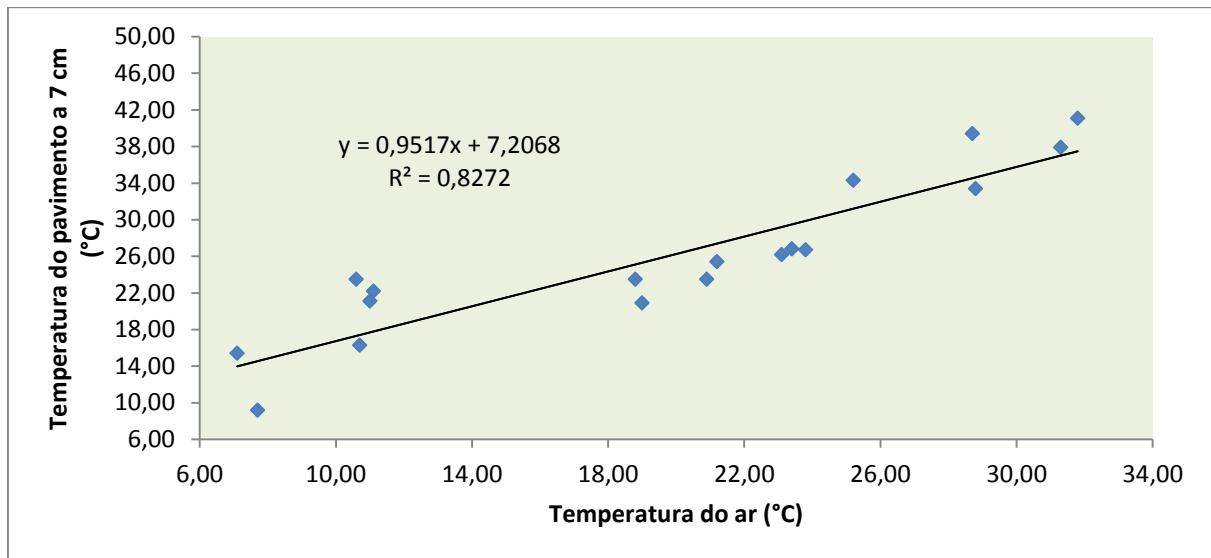


Fonte: Autor (2015).

E na profundidade de 7 cm, a Equação 39, apresentou também um coeficiente de correlação bom no valor de 0,8272, conforme visualizamos no Gráfico 11.

$$T_{7\text{ cm}} = 0,9517 \cdot T_{ar} + 7,2068 \quad (39)$$

**Gráfico 11 - Temperatura do AR em função da temperatura a 7 cm de profundidade (ao sol)**



Fonte: Autor (2015).

Pode-se observar que todos os modelos gerados nesta amostra apresentaram uma boa correlação positiva entre as variáveis analisadas ( $0,8 \leq r^2 < 0,9$ ), logo os modelos estão explicando bem os dados coletados para esta amostra.

#### 4.2.2 Temperatura Mínima

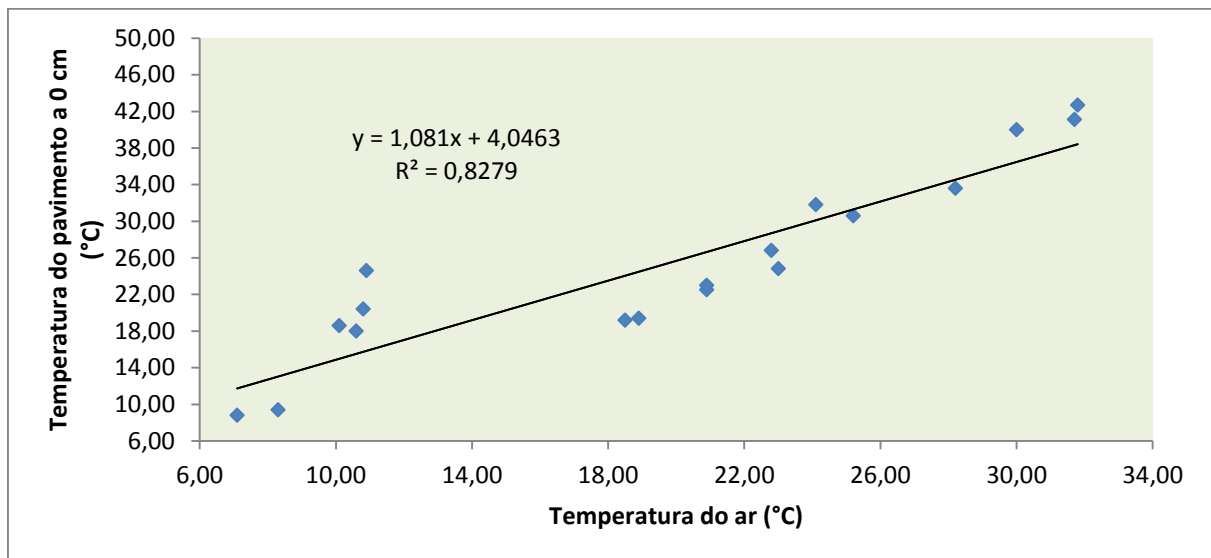
O mesmo procedimento realizou-se para com os dados coletados no ponto na sombra, onde se confeccionou um modelo de previsão de temperatura mínima em relação à temperatura do ar, sol para a superfície do pavimento, 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm de profundidade para esta amostra, como pode-se ver nas Equações 40, 41, 42, 43 e 44 com o auxílio dos Gráficos 12, 13, 14, 15 e 16.

Ao gerar o modelo que prevê a temperatura mínima na superfície do revestimento através da temperatura do ar, obtemos a Equação 40 com coeficiente de correlação no valor de  $r^2$  0,8279, onde este valor está dizendo que este modelo

apresenta uma boa correlação positiva entre as variáveis analisadas, como se pode ver no Gráfico 12.

$$T_{\text{sup}} = 1,081 \cdot T_{\text{ar}} + 4,0463 \quad (40)$$

**Gráfico 12 - Temperatura do ar em função da temperatura na superfície (na sombra)**

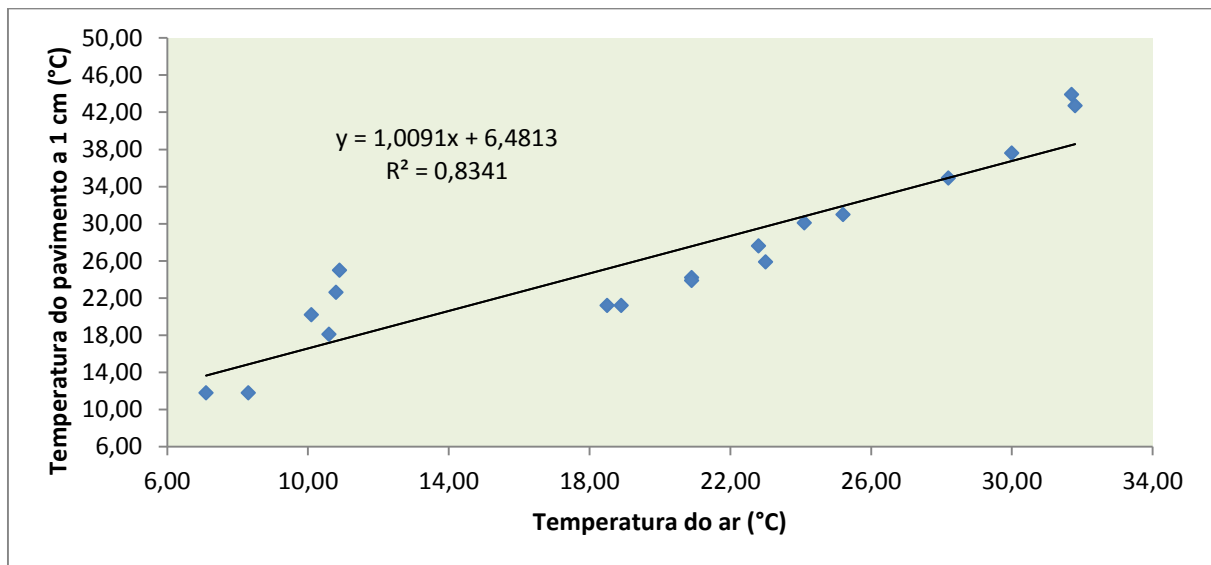


Fonte: Autor (2015).

Em seguida, se gerou o modelo que prevê a temperatura mínima do revestimento a 1 cm, através da temperatura do ar, onde obteve-se a Equação 41 com coeficiente de correlação no valor de  $r^2$  0,8341, dizendo novamente que este modelo apresenta uma boa correlação positiva entre as variáveis analisadas, como pode-se ver no Gráfico 13.

$$T_{1\text{ cm}} = 1,0091 \cdot T_{\text{ar}} + 6,4813 \quad (41)$$

**Gráfico 13 - Temperatura do ar em função da temperatura a 1 cm de profundidade (na sombra)**

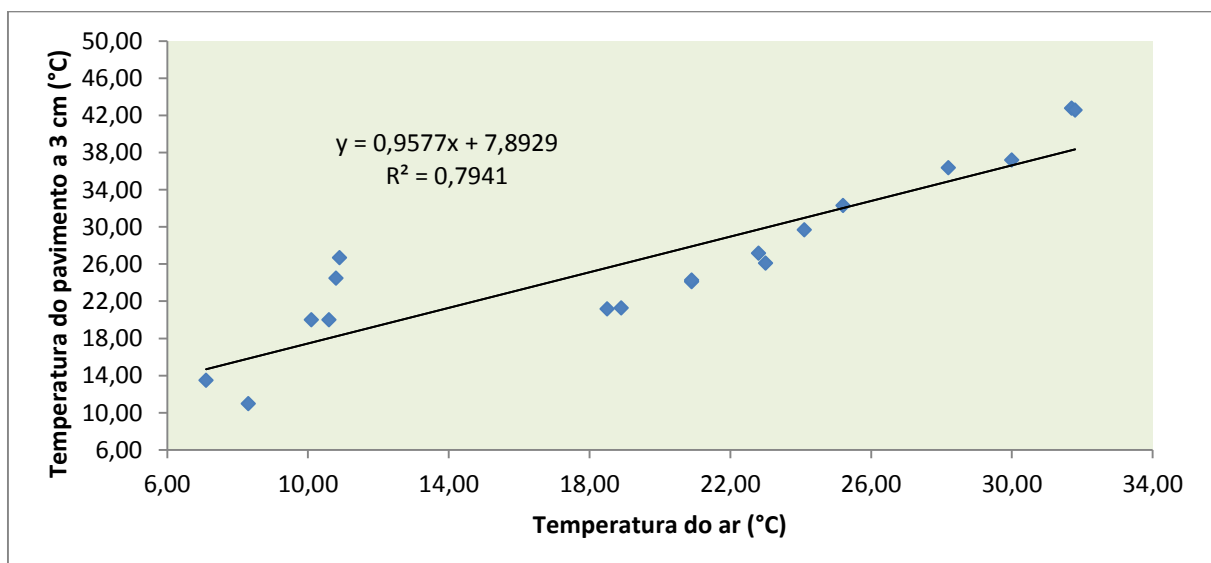


Fonte: Autor (2015).

O mesmo se procedeu para a profundidade de 3 cm, onde gerou-se a Equação 42, com um coeficiente de correlação no valor de 0,7941, dizendo que este modelo apresenta uma correlação positiva média entre as variáveis analisadas ( $0,6 \leq r < 0,8$ ), conforme Gráfico 14.

$$T_{3\text{ cm}} = 0,9577 \cdot T_{\text{ar}} + 7,8929 \quad (42)$$

**Gráfico 14 - Temperatura do ar versus temperatura a 3 cm de profundidade (na sombra)**



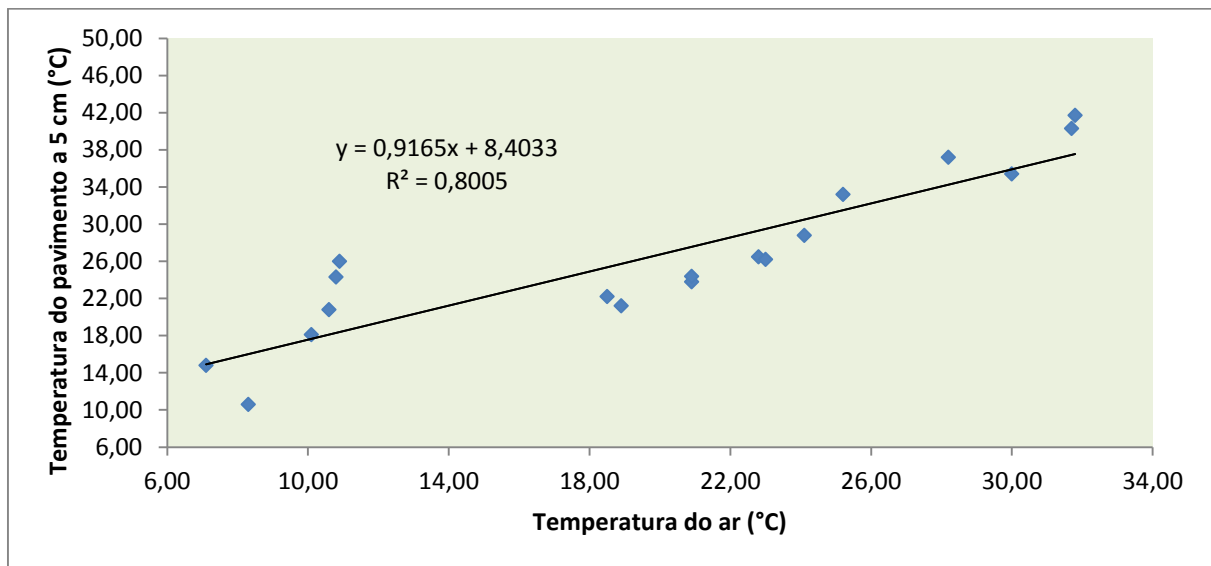
Fonte: Autor (2015).



Para a profundidade de 5 cm, gerou-se a Equação 43, com um coeficiente de correlação no valor de 0,8005, assim, dizendo que este modelo apresenta uma correlação positiva boa, conforme Gráfico 14.

$$T_{5\text{ cm}} = 0,9165 \cdot T_{\text{ar}} + 8,4033 \quad (43)$$

**Gráfico 15 - Temperatura do ar versus temperatura a 5 cm de profundidade (na sombra)**

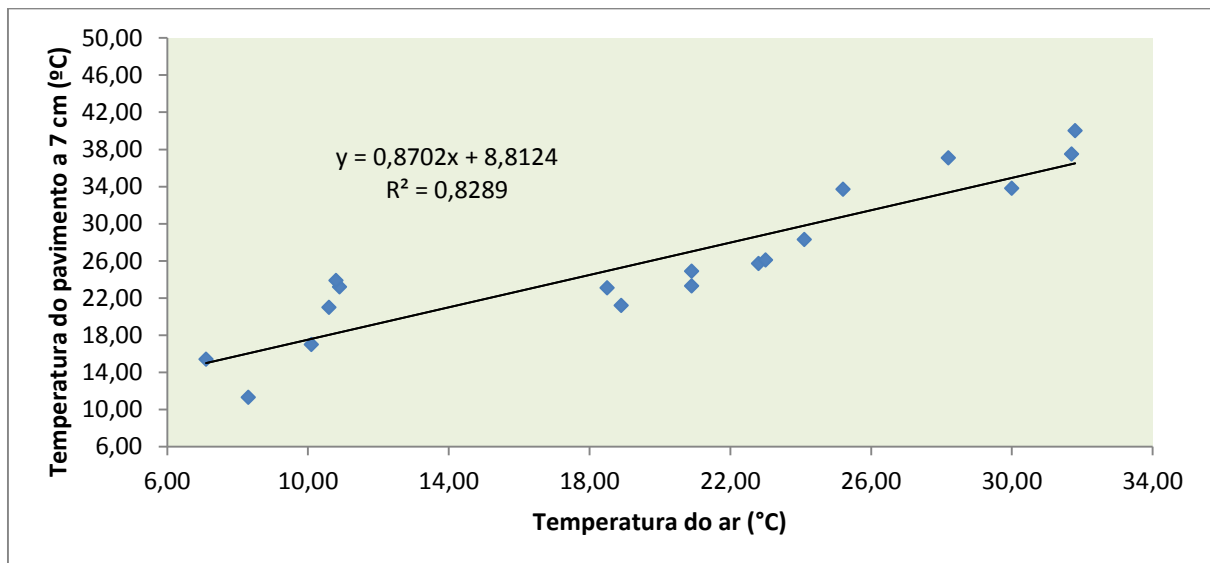


Fonte: Autor (2015).

E na profundidade de 7 cm, a Equação 44, apresentou também um coeficiente de correlação bom no valor de 0,8289, conforme visualizamos no Gráfico 16.

$$T_{7\text{ cm}} = 0,8702 \cdot T_{\text{ar}} + 8,8124 \quad (44)$$

**Gráfico 16 - Temperatura do ar em função da temperatura a 7 cm de profundidade (na sombra)**



Fonte: Autor (2015).

Repete-se a mesma observação realizada sobre os modelos gerados na temperatura máxima, pois a maioria dos modelos gerados nesta amostra apresentou uma boa correlação positiva entre as variáveis, assim mantendo modelos que explicam bem os dados coletados para esta amostra.

#### **4.3 Modelos de temperatura do pavimento em função da temperatura da superfície**

Mesmo praticamente todos os modelos apresentando uma boa correlação entre as variáveis analisadas, se resolveu comparar os dados levantados nas profundidades 1cm, 3 cm, 5 cm e 7cm com a temperatura coletada na superfície do pavimento, para fins de aprimoramento do modelo da amostra e, por que se tem o elemento irradiação atuando diretamente sobre a superfície.

Como não se tem como coletar a irradiação atuando naquele momento que está ocorrendo o levantamento *in loco*, na hora precisamente, o máximo que podia-se ter acesso é referente ao valor médio do dia. Mas assim não teria-se a exatidão nos cálculos.

Desta forma, pode-se concluir e adotar para fins de cálculos que a temperatura superficial do pavimento (0 cm) está recebendo a irradiação solar, logo seu valor está compreendido dentro da variável independente temperatura do

superficial coletado em campo, como já foi observado por outros autores que se depararam com tal incógnita.

A partir disto, elaboraram-se modelos para essa amostra através da relação da temperatura coletada a 1 cm, 3cm, 5 cm e 7cm com a temperatura superficial do pavimento asfáltico, onde continuou adotando o método de obter a temperatura máxima através de dados coletados no sol e temperatura mínima com os obtidos na sombra.

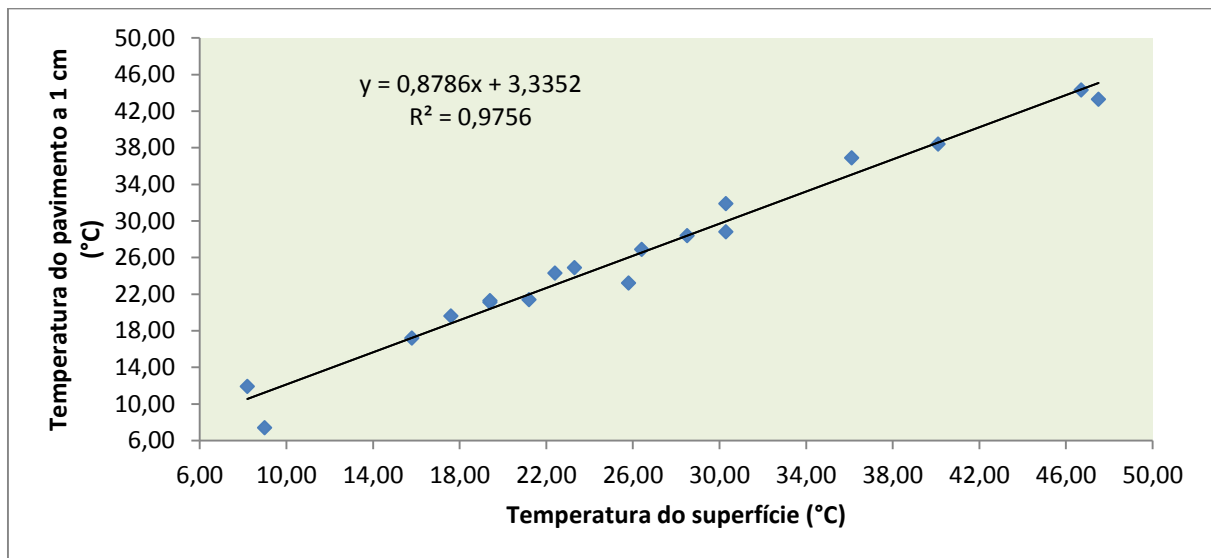
#### 4.3.1 Temperatura máxima

Correlacionando os dados obtidos nos levantamentos no ponto 1 (ao sol) para as profundidades 1cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm com as temperaturas coletadas na superfície, gerou-se modelos para obter-se a temperatura máxima do pavimento através da temperatura superficial do revestimento asfáltico, resultando nas Equações 45, 46, 47 e 48.

Ao gerar o modelo que prevê a temperatura máxima na profundidade de 1 cm do revestimento através da temperatura superficial do revestimento, obtém-se a Equação 45 com coeficiente de correlação no valor de  $r^2$  0,9756, onde este valor nos diz que este modelo apresenta uma ótima correlação positiva entre as variáveis analisadas, como pode-se ver no Gráfico 17.

$$T_{1\text{ cm}} = 0,8786 \cdot T_{\text{sup}} + 3,3352 \quad (45)$$

**Gráfico 17 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 1 cm de profundidade (ao sol)**

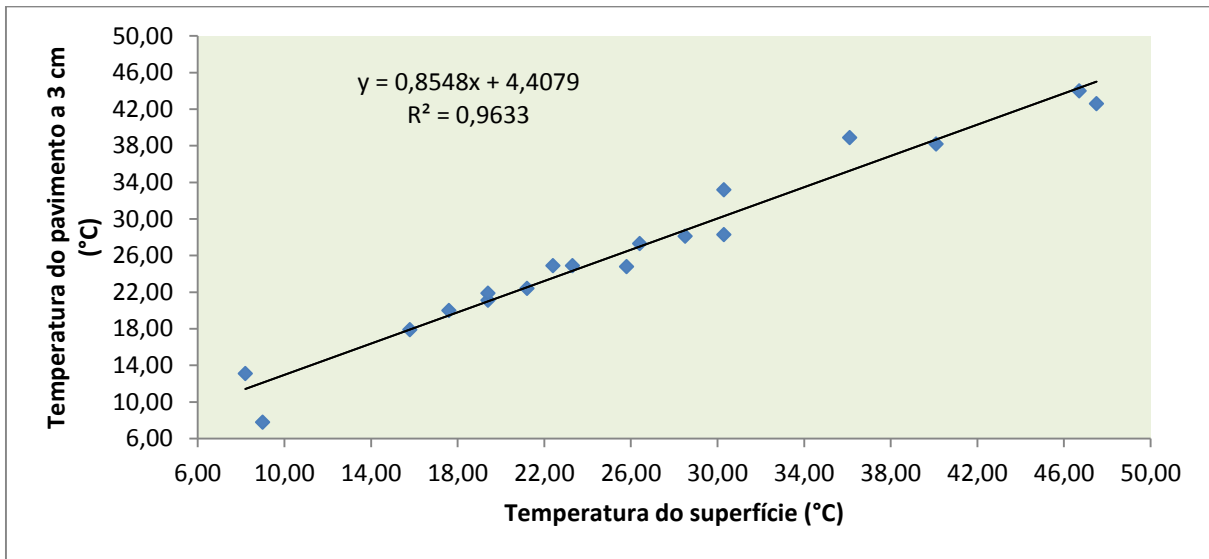


Fonte: Autor (2015).

O modelo que prevê a temperatura máxima na profundidade de 3 cm do revestimento através da temperatura superficial do revestimento é a Equação 46, com coeficiente de correlação no valor de  $r^2$  0,9633, onde este valor está dizendo novamente que este modelo apresenta uma ótima correlação positiva entre as variáveis analisadas, como pode-se ver no Gráfico 18.

$$T_{3\text{ cm}} = 0,8548 \cdot T_{\text{sup}} + 4,4079 \quad (46)$$

**Gráfico 18 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 3 cm de profundidade (ao sol)**

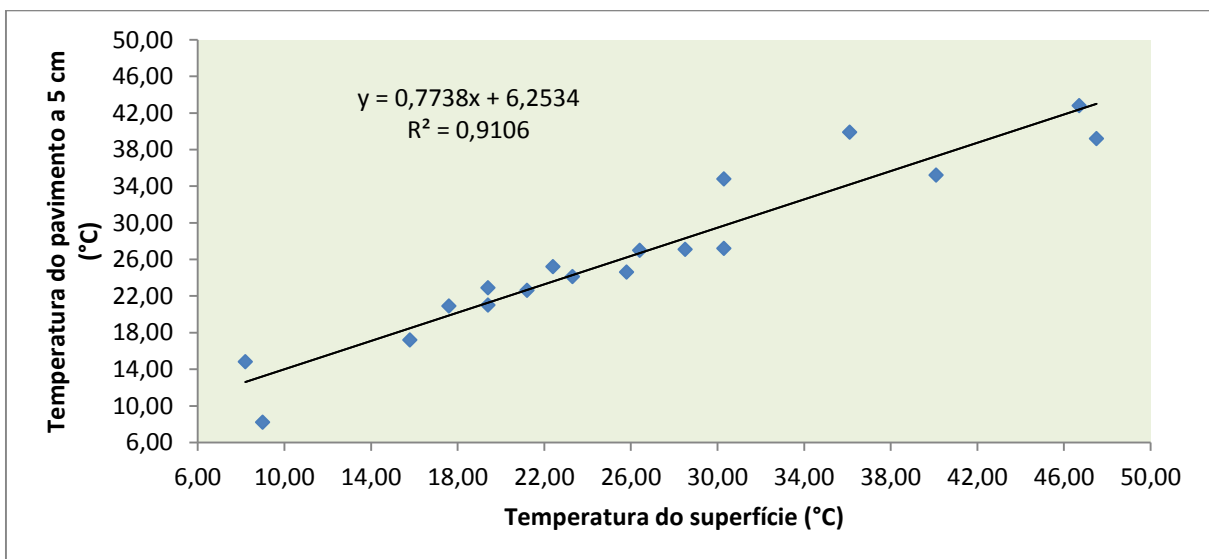


Fonte: Autor (2015).

Para a profundidade de 5 cm, gerou a Equação 47, com um coeficiente de correlação no valor de 0,9106, onde este está dizendo que este modelo apresenta uma correlação positiva alta, conforme Gráfico 19.

$$T_{5\text{ cm}} = 0,7738 \cdot T_{\text{sup}} + 6,2534 \quad (47)$$

**Gráfico 19 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 5 cm de profundidade (ao sol)**

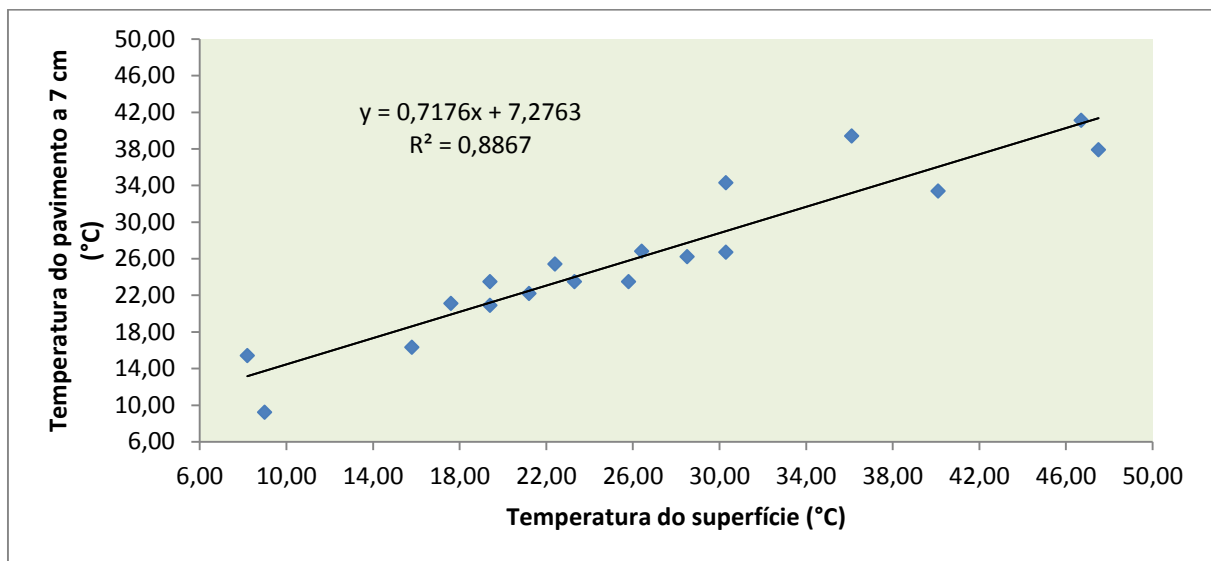


Fonte: Autor (2015).

Para a profundidade de 7 cm, gerou a Equação 48, com um coeficiente de correlação no valor de 0,8867, dizendo que este modelo apresenta uma correlação positiva boa, conforme Gráfico 20.

$$T_{7\text{ cm}} = 0,7176 \cdot T_{\text{sup}} + 7,2763 \quad (48)$$

**Gráfico 20 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 7 cm de profundidade (ao sol)**



Fonte: Autor (2015).

Pode-se observar que a maioria dos modelos gerados nesta amostra apresentou uma ótima correlação positiva entre as variáveis analisadas ( $0,9 \leq r^2 < 1,0$ ), logo os modelos estão explicando muito bem os dados coletados para esta amostra. Nota-se por consequência, que coeficiente de determinação ( $r^2$ ) se elevou, comparado aos modelos gerados através da temperatura do ar (variável independente), porém já era algo previsto, pois só nos confirma o englobamento do fator irradiação solar presente nos modelos por meio da temperatura superficial do revestimento asfáltico.

#### 4.3.2 Temperatura mínima

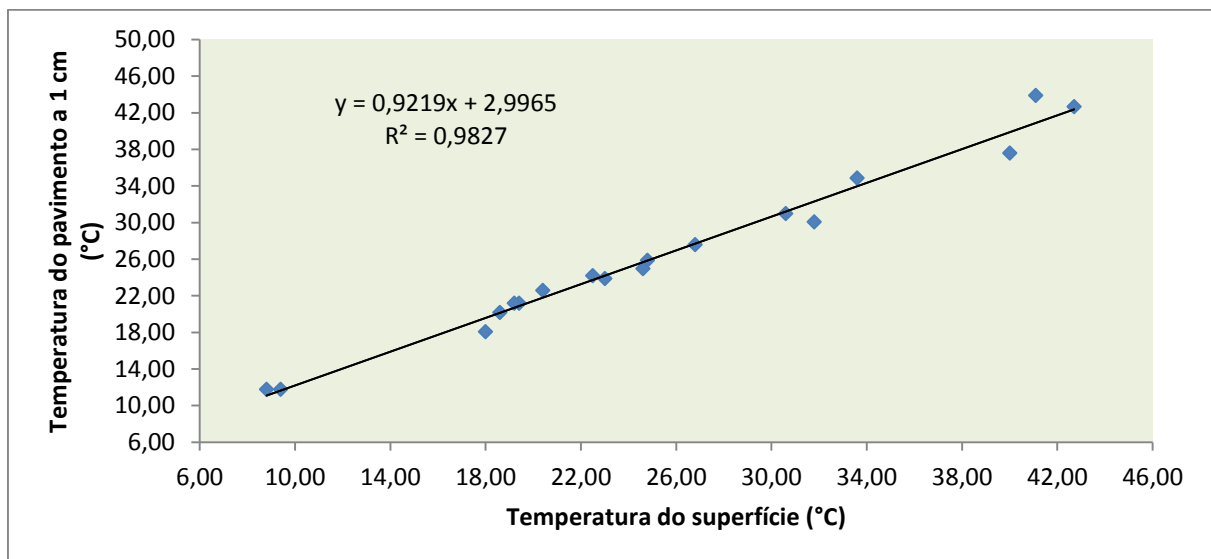
O mesmo procedimento realizou-se para com os dados coletados no ponto na sombra, onde se confeccionou um modelo de previsão de temperatura mínima em

relação à temperatura da superfície do pavimento para as profundidades 1 cm, 3 cm, 5 cm e 7 cm do revestimento asfáltico para esta amostra, como pode-se ver nas Equações 49, 50, 51 e 52 com o auxílio dos Gráficos 21, 22, 23 e 24.

Ao gerar o modelo que prevê a temperatura mínima na profundidade de 1 cm do revestimento através da temperatura superficial do revestimento, obteve-se a Equação 49 com coeficiente de correlação no valor de  $r^2$  0,9827, onde este valor está dizendo que este modelo apresenta uma alta correlação positiva entre as variáveis analisadas, como pode-se ver no Gráfico 21.

$$T_{1\text{ cm}} = 0,9219 \cdot T_{\text{sup}} + 2,9965 \quad (49)$$

**Gráfico 21 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 1 cm de profundidade (na sombra)**

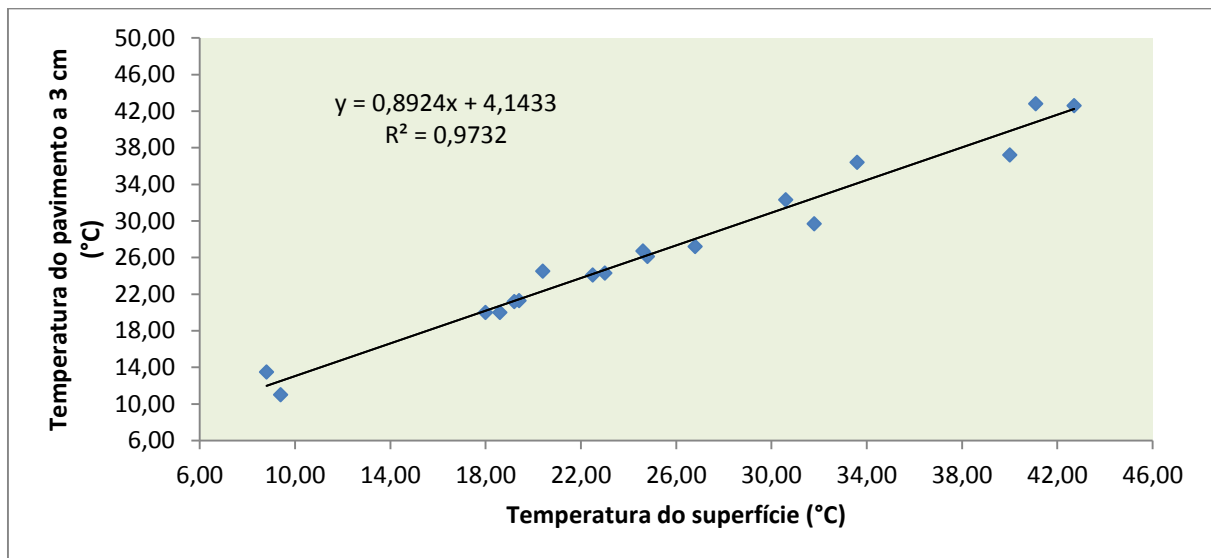


Fonte: Autor (2015).

O modelo que prevê a temperatura mínima na profundidade de 3 cm do revestimento através da temperatura superficial do revestimento é a Equação 50, com coeficiente de correlação no valor de  $r^2$  0,9732, onde este valor está dizendo novamente que este modelo apresenta uma ótima correlação positiva entre as variáveis analisadas, como pode-se ver no Gráfico 22.

$$T_{3\text{ cm}} = 0,8924 \cdot T_{\text{sup}} + 4,1433 \quad (50)$$

**Gráfico 22 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 3 cm de profundidade (na sombra)**

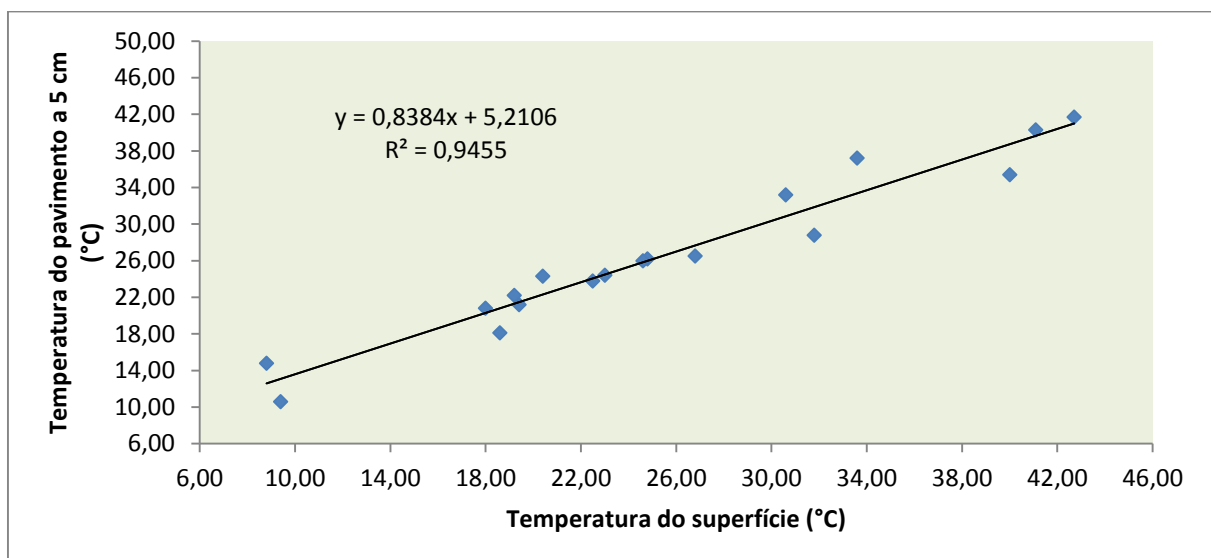


Fonte: Autor (2015).

Para a profundidade de 5 cm, se gerou a Equação 51, com um coeficiente de correlação no valor de 0,9455, dizendo que este modelo também apresenta uma correlação positiva alta, conforme Gráfico 23.

$$T_{5\text{ cm}} = 0,8384 \cdot T_{\text{sup}} + 5,2106 \quad (51)$$

**Gráfico 23 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 5 cm de profundidade (na sombra)**



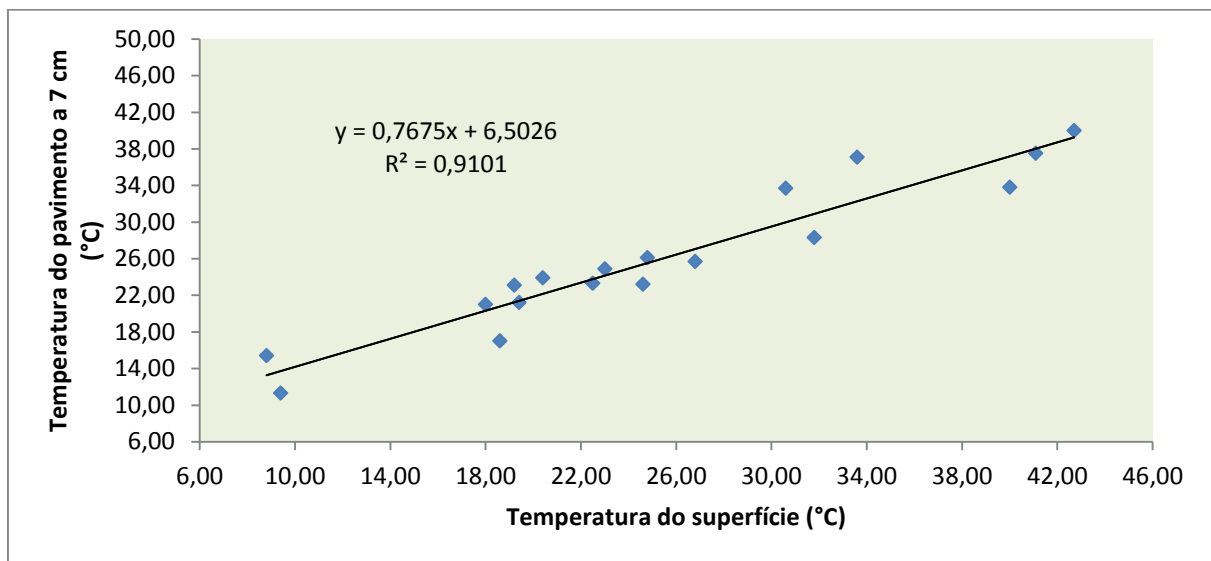
Fonte: Autor (2015).



Para a profundidade de 7 cm, gerou a Equação 52, com um coeficiente de correlação no valor de 0,9101, assim, dizendo que este modelo apresenta uma correlação positiva ótima, conforme Gráfico 24.

$$T_{7\text{ cm}} = 0,7675 \cdot T_{\text{sup}} + 6,5026 \quad (52)$$

**Gráfico 24 - Temperatura da superfície em função da temperatura a 7 cm de profundidade (na sombra)**



Fonte: Autor (2015).

Observa-se que todos os modelos gerados nesta amostra para determinar a temperatura mínima nas profundidades analisadas através da temperatura superficial do pavimento apresentaram uma alta correlação positiva entre as variáveis analisadas ( $0,9 \leq r^2 < 1,0$ ), logo os modelos estão explicando muito bem os dados coletados para esta amostra. Como já se viu anteriormente nos modelos gerados para prever a temperatura máxima das profundidades através da temperatura superficial do pavimento, novamente percebe-se uma elevação significativa do coeficiente de determinação para os modelos gerados em relação à temperatura da superfície se comparado aos modelos gerados através da temperatura do ar, uma vez que tal resultado já era previsto, pois só confirma a presença do fator irradiação solar presente nos modelo por meio da temperatura superficial do revestimento asfáltico.

#### 4.4 MODELO GERAL

A pós gerar os modelos comparando cada variável com a temperatura do ar e a temperatura da superfície do pavimento, tanto para o ponto exposto ao sol (ponto 1) como o na sombra (ponto 2) do levantamento amostral, se confeccionou dois modelos gerais, através do banco de dados gerado com este levantamento, que pudesse um deles prognosticar a temperatura máxima, através das variáveis temperatura do ar e temperatura da superfície e o outro, prever a temperatura mínima através das mesmas variáveis, para qualquer pavimento flexível de revestimento asfáltico para o município de Venâncio Aires.

O desenvolvimento desses modelos ocorreu através do uso do software IBM® SPSS® *Statistics Base*, juntamente com o Núcleo de Pesquisa Social (NUPES) da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) e, com auxílio do Estatístico Renato Michel, sendo que o relatório gerado encontra-se no APENDICE D deste trabalho, resultando as Equações 53 e 54, como podemos ver a seguir.

**Tabela 8 - Coeficientes gerados pelo SPSS® *Statistics Base* para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura do ar e a temperatura da superfície**

Coeficiente	Valor
Constante	4,501
Temperatura 0 cm - Ponto 1 (Sol)	0,626
Temperatura do ar – Ponto 1 (Sol)	0,274
Profundidade = 3cm	0,456
Profundidade = 5 cm	0,194
Profundidade = 7cm	-0,244

Fonte: Autor (2015).

$$T_{m\acute{a}x} = 4,501 + 0,626.T_{sup} + 0,274.T_{ar} + 0,456.T_{3\text{ cm}} + 0,194.T_{5\text{ cm}} - 0,244.T_{7\text{ cm}} \quad (53)$$

Onde a Equação 53, o  $r^2$  resultante foi no valor de 0,943.

**Tabela 9 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura do ar e a temperatura da superfície**

<b>Coeficiente</b>	<b>Valor</b>
Constante	4,665
Temperatura 0 cm - Ponto 2 (Sombra)	0,793
Temperatura do ar – Ponto 2 (Sombra)	0,082
Profundidade = 3 cm	0,400
Profundidade = 5 cm	0,100
Profundidade = 7 cm	-0,400

Fonte: Autor (2015).

$$T_{\min} = 4,665 + 0,793.T_{sup} + 0,082.T_{ar} + 0,400.T_{3\text{ cm}} + 0,100.T_{5\text{ cm}} - 0,400.T_{7\text{ cm}} \quad (54)$$

Já a Equação 54, o coeficiente de correlação foi de 0,953. Lembrando que não se tem a temperatura a 1 cm de profundidade no cálculo, pois a mesma serviu de referência para o cálculo, ou seja, se deseja saber a temperatura na profundidade de 1 cm, apenas zeramos as variáveis  $T_{3\text{cm}}$ ,  $T_{5\text{cm}}$  e  $T_{7\text{cm}}$ , e assim obter-se-á a qual temperatura máxima o revestimento asfáltico atingirá com uma determinada temperatura do ar e do pavimento. O mesmo procedimento é aplicado para as demais profundidades.

Porém ao gerar os gráficos de correlação entre a temperatura superficial do pavimento (0 cm) e a temperatura do ar, tanto com os dados coletados ao sol, como os na sombra, notou-se uma alta correlação entre os dados, como pode-se ver no APÊNDICE E, pois se você for pegar apenas como exemplo, a temperatura do ar no ponto 1 e a temperatura na superfície no ponto 1, elas têm uma correlação de 0,901 (forte correlação) e o mesmo acontece no ponto 2, onde a temperatura ambiente e a temperatura superficial tem uma correlação de 0,910 (forte correlação). Desta forma, variáveis independentes com alta correlação não podem ser colocadas juntas num mesmo modelo de regressão.

Após esta constatação, se resolveu gerar quatro modelos gerais, através do nosso banco de dados gerado com este levantamento, que pudesse dois deles prognosticar a temperatura máxima, sendo um pela temperatura do ar e outro pela temperatura da superfície do pavimento, e os outros dois prever a temperatura

mínima, onde um preveria pela temperatura do ar e o outro pela temperatura da superfície do pavimento, para qualquer pavimento flexível de revestimento asfáltico para o município de Venâncio Aires.

Ao rodar os modelos desejados, conforme descrito acima, este gerou as Equações 55 e 56, responsáveis por prever a temperatura máxima e mínima, respectivamente, através da variável temperatura superficial (0 cm) do pavimento, conforme podemos ver os coeficientes e seus respectivos valores gerados através das Tabelas 10 e 11, sendo estes retirados do relatório apresentado no APÊNDICE F.

**Tabela 10 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura superficial**

<b>Coeficiente</b>	<b>Valor</b>
Constante	5,217
Temperatura 0 cm - Ponto 1 (Sol)	0,806
Profundidade = 3 cm	0,456
Profundidade = 5 cm	0,194
Profundidade = 7 cm	-0,244

Fonte: Autor (2015).

A Equação 55 gerada apresenta um coeficiente de correlação alto no valor de 0,933, ou seja, mesmo com a retirada da variável temperatura do ar, o modelo continua explicando muito bem o caso.

$$T_{m\acute{a}x} = 5,217 + 0,806.T_{sup} + 0,456.T_{3\text{ cm}} + 0,194.T_{5\text{ cm}} - 0,244.T_{7\text{ cm}} \quad (55)$$

**Tabela 11 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura superficial**

<b>Coeficiente</b>	<b>Valor</b>
Constante	4,688
Temperatura 0 cm - Ponto 2 (Sombra)	0,855
Profundidade = 3 cm	0,400
Profundidade = 5 cm	0,100
Profundidade = 7 cm	-0,400

Fonte: Autor (2015).

O mesmo ocorre com a Equação 56, que apresenta um coeficiente de correlação alto no valor de 0,951.

$$T_{min} = 4,688 + 0,855.T_{sup} + 0,400.T_{3\text{ cm}} + 0,100.T_{5\text{ cm}} - 0,400.T_{7\text{ cm}} \quad (56)$$

Em seguida, desenvolveram-se os modelos que preveem a temperatura máxima e mínima através da temperatura do ar, sendo estes representados neste trabalho pelas Equações 57 e 58, respectivamente, conforme pode-se ver os coeficientes e seus respectivos valores gerados através das Tabelas 12 e 13, sendo estes retirados do relatório apresentado no APÊNDICE G.

**Tabela 12 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura do ar**

<b>Coeficiente</b>	<b>Valor</b>
Constante	5,535
Temperatura do ar – Ponto 1 (Sol)	1,049
Profundidade = 3 cm	0,456
Profundidade = 5 cm	0,194
Profundidade = 7 cm	-0,244

Fonte: Autor (2015).

A Equação 57 gerada apresenta um coeficiente de correlação bom no valor de 0,838, ou seja, explica bem o modelo gerado, mas não melhor que o modelo gerado pela temperatura da superfície do pavimento para determinar a temperatura máxima do pavimento, uma vez que este carrega consigo o fator irradiação embutido na equação.

$$T_{m\acute{a}x} = 5,535 + 1,049.T_{ar} + 0,456.T_{3\text{ cm}} + 0,194.T_{5\text{ cm}} - 0,244.T_{7\text{ cm}} \quad (57)$$

**Tabela 13 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura do ar**

<b>Coeficiente</b>	<b>Valor</b>
Constante	7,872
Temperatura do ar – Ponto 2 (Sombra)	0,938
Profundidade = 3 cm	0,400
Profundidade = 5 cm	0,100
Profundidade = 7 cm	-0,400

Fonte: Autor (2015).

O mesmo ocorre com o modelo gerado através Equação 58, que apresenta um coeficiente de correlação bom no valor de 0,812, confirmando o que foi dito anteriormente.

$$T_{m\acute{i}n} = 7,872 + 0,938.T_{ar} + 0,400.T_{3\text{ cm}} + 0,100.T_{5\text{ cm}} - 0,400.T_{7\text{ cm}} \quad (58)$$

Mas com a confecção dos quatros modelos, pode-se ver que os coeficientes gerados para as variáveis profundidades são números muito próximos de zero, logo estes são considerados como valores insignificantes, pois estatisticamente não são considerados valores diferentes de zero. Em vista disso, os modelos estão dizendo que as variáveis profundidade de 3 cm, 5 cm e 7cm, no nosso caso, não estão predizendo a temperatura máxima e mínima do pavimento, fazendo o efeito profundidade não ser significativo para aplicar a um modelo geral. Pois os únicos que estão predizendo a temperatura máxima e mínima, são a temperatura do ar e a superficial do pavimento.

Podemos ver também através dos gráficos presentes no APÊNDICE E deste trabalho que a profundidade não está diferenciando as temperaturas de tal forma que se consiga identificar uma profundidade da outra, pois o que se vê são os dados obtidos todos misturados na mesma faixa e, confirmado com o relatório onde se fez a comparação entre as temperaturas médias em cada profundidade, segundo APÊNDICE H. Logo se pode apurar e ver que estatisticamente as temperaturas nas diversas profundidades são iguais, não apresentando variação significativa entre elas.

#### 4.4.1 Modelo geral final

Posteriormente, após se chegar na conclusão que neste estudo para fins de confecção de um modelo geral, a temperaturas nas profundidades são de certa forma iguais, pois não apresentam variação significativa ao ponto de influenciarem nos resultados, se desenvolveu dois modelos de previsão de temperatura máxima e mínima do pavimento, válida para qualquer profundidade de 0 a 7 cm, onde um deles leva em consideração a temperatura na superfície do pavimento e o outro a temperatura do ar, e se eliminou as variáveis independentes (profundidade).

Ao rodar os modelos desejados, este gerou as Equações 59 e 60, que serão responsáveis por prever a temperatura máxima e mínima, respectivamente, através apenas da variável temperatura superficial (0 cm) do pavimento, válida para qualquer profundidade de 0 a 7 cm. Pode-se ver os coeficientes e seus respectivos valores gerados através das Tabelas 14 e 15, sendo estes retirados do relatório apresentado no APÊNDICE I.

**Tabela 14 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura da superfície do pavimento (sem as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm)**

<b>Coeficiente</b>	<b>Valor</b>
Constante	5,318
Temperatura 0 cm - Ponto 1 (Sol)	0,806

Fonte: Autor (2015).

A Equação 59 gerada apresenta um coeficiente de correlação alto no valor de 0,932, ou seja, quase o mesmo valor do modelo gerado com as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm anteriormente, onde obteve-se um  $r^2$  no valor de 0,933, isto quer dizer que o modelo desenvolvido ainda continua explicando muito bem o estudo sem a presença destas variáveis.

$$T_{\text{máx}} = 5,318 + 0,806 \cdot T_{\text{sup}} \quad (59)$$

**Tabela 15 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura da superfície do pavimento (sem as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm)**

Coeficiente	Valor
Constante	4,713
Temperatura 0 cm - Ponto 2 (Sombra)	0,855

Fonte: Autor (2015).

A Equação 60 mantém também um coeficiente de correlação tanto alto, quanto o modelo gerado com as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm anteriormente, no valor de 0,950, isto quer dizer que o modelo desenvolvido ainda continua explicando muito bem o estudo sem a presença destas variáveis, pois não resultou nenhuma alteração no grau de explicação da equação.

$$T_{\text{mín}} = 4,713 + 0,855 \cdot T_{\text{sup}} \quad (60)$$

Também se desenvolveu modelos que preveem a temperatura máxima e mínima do pavimento, respectivamente, através apenas da variável temperatura do ar, através das Equações 61 e 62, sendo válida para qualquer profundidade de 0 a 7 cm, uma vez que não existe significativa oscilação térmica dentro do revestimento, conforme se viu neste trabalho. Pode-se ver os coeficientes e seus respectivos valores gerados através das Tabelas 16 e 17, sendo estes retirados do relatório apresentado no APÊNDICE H.



**Tabela 16 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura máxima do pavimento através da temperatura do ar (sem as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm)**

<b>Coeficiente</b>	<b>Valor</b>
Constante	5,637
Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)	1,049

Fonte: Autor (2015).

A Equação 61 gerada apresenta um coeficiente de correlação bom no valor de 0,837, ou seja, quase o mesmo valor do modelo gerado com as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm anteriormente, onde obtivemos um  $r^2$  no valor de 0,838, isto quer dizer que o modelo desenvolvido ainda continua explicando bem o estudo sem a presença destas variáveis, além de não resultar em nenhuma alteração no grau de explicação

$$T_{\text{máx}} = 5,637 + 1,049 \cdot T_{\text{ar}} \quad (61)$$

**Tabela 17 - Coeficientes gerados pelo SPSS® Statistics Base para o modelo de previsão de temperatura mínima do pavimento através da temperatura do ar (sem as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm)**

<b>Coeficiente</b>	<b>Valor</b>
Constante	7,897
Temperatura 0 cm - Ponto 2 (Sombra)	0,938

Fonte: Autor (2015).

A Equação 62 mantém também um coeficiente de correlação bom, quanto o modelo gerado com as variáveis profundidade 3 cm, 5 cm e 7 cm anteriormente, no valor de 0,811, isto quer dizer que o modelo desenvolvido ainda continua explicando bem o estudo sem a presença destas variáveis, pois não resultou em nenhuma alteração no grau de explicação da equação.

$$T_{\text{mín}} = 7,897 + 0,938 \cdot T_{\text{ar}} \quad (62)$$

Com isto, as Equações 59, 60, 61 e 62 são os modelos de previsão de temperatura para os pavimentos flexíveis no município de Venâncio Aires.

#### **4.5 Comparações dos modelos gerados e dos modelos existentes**

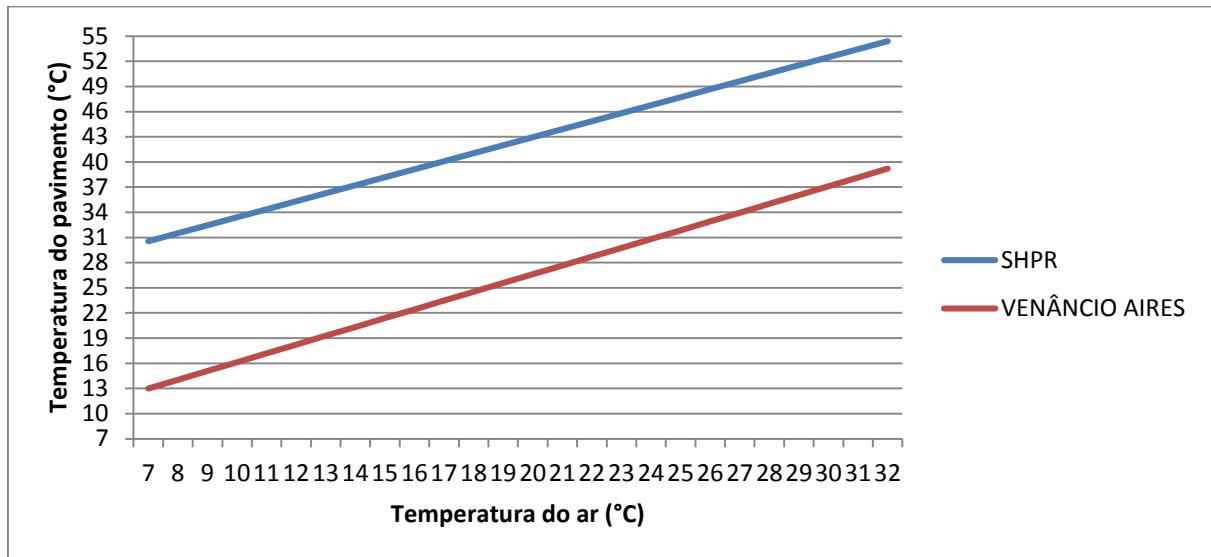
Apresentado como um dos objetivos deste trabalho realizou-se a comparação dos modelos desenvolvidos neste estudo com os já desenvolvidos por outros autores, com a finalidade de aplicabilidade destes no município.

O modelo de VIEIRA (2002) não se pode comparar por não ter-se o levantamento do fator irradiação solar separado como uma variável para o caso de estudo em Venâncio Aires.

O modelo desenvolvido por Rodrigues (1991) não pode ser comparado com os modelos desenvolvidos neste trabalho, pois não considerou-se as duas variáveis independentes temperatura do ar e temperatura superficial juntas no estudo, pois as mesmas apresentavam forte correlação entre elas, sendo elas colineares, e confeccionando um modelo com elas presente ocasionaria um erro significativo no momento de analisar os dados.

O modelo desenvolvido através do SHRP (ASPHALT INSTITUTE, 1994) para prever a temperatura máxima, não se enquadra com o modelo gerado neste estudo, pois o mesmo gera valores bem elevados, conforme ilustra o Gráfico 25. O modelo SHRP leva em consideração o fator latitude na sua equação, onde no nosso caso da coleta da temperatura máxima no ponto 1 (ao sol) era no valor de 29,601944 (29°36'07,5"). Mas mesmo ocorrendo a elevação da temperatura do ar a diferença ainda é significativa entre os dois modelos. Talvez esta diferença venha do fato de este modelo ter analisado várias regiões do país, se deparando com vários tipos de clima e intensidades de irradiação, e pelo próprio fato do modelo ter sido desenvolvido no território americano.

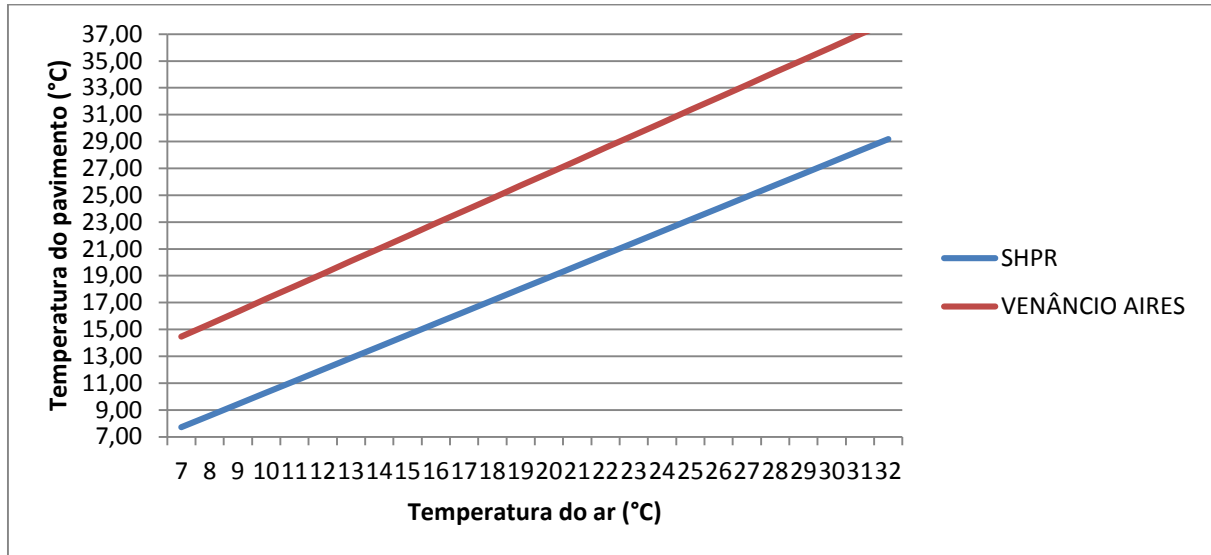
**Gráfico 25 - Comparação entre o modelo desenvolvido pelo SHPR e do município de Venâncio Aires para prever temperaturas máximas no pavimento através da temperatura do ar**



Fonte: Autor (2015).

A análise não se difere para o modelo de previsão de temperatura mínima no pavimento, uma vez que os valores gerados pelo modelo do SHPR são bem maiores que os gerados pelo modelo confeccionado para os pavimentos de revestimento asfáltico do município de Venâncio Aires, ficando superior na faixa de 6 a 8 °C, como pode-se ver através do Gráfico 26. Tal modelo não condiz com a nossa realidade, para fins de adotá-lo como forma de prever a temperatura mínima no pavimento no nosso município.

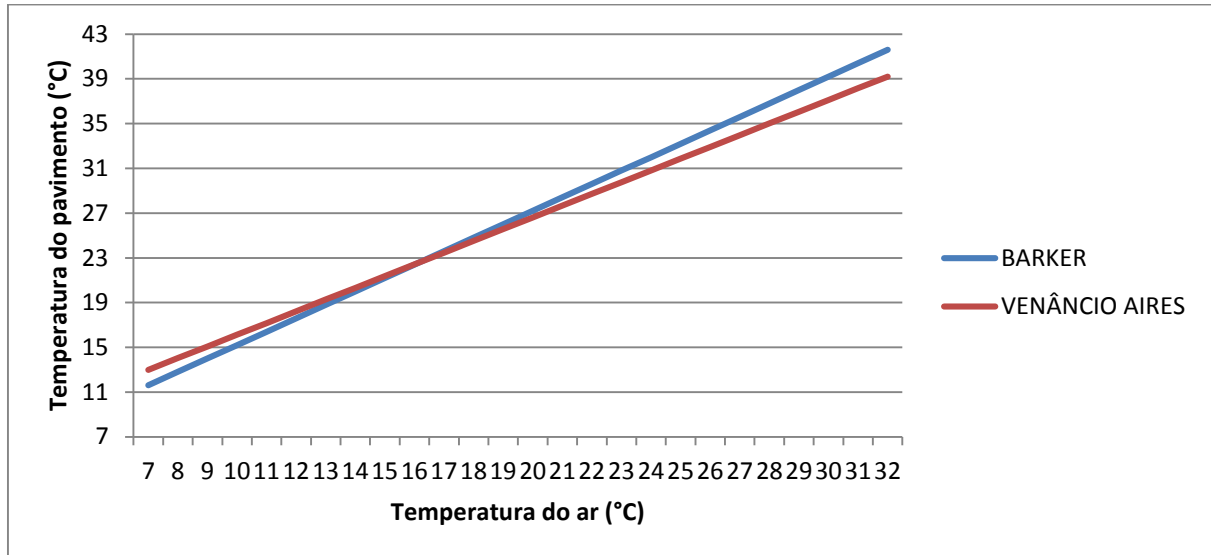
**Gráfico 26 - Comparação entre o modelo desenvolvido pelo SHPR e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever temperaturas mínimas no pavimento através da temperatura do ar**



Fonte: Autor (2015).

O modelo desenvolvido por Barker et al. (1977) no estado do Michigan, nos Estados Unidos da América, apresenta grande adaptação para previsão de temperaturas máximas para pavimentos de revestimento asfáltico no município de Venâncio Aires. Seu modelo se adaptou perfeitamente quando a temperatura do ar se encontra no intervalo de 8° C a 23°C. Fora desta faixa, apresenta variações superiores a 2 °C, que é resultante em decorrência do aumento da temperatura do ar. Um dos motivos por este modelo se adaptar ao caso é devido ao clima neste estado ser temperado úmido, onde as características são semelhantes ao clima temperado subtropical.

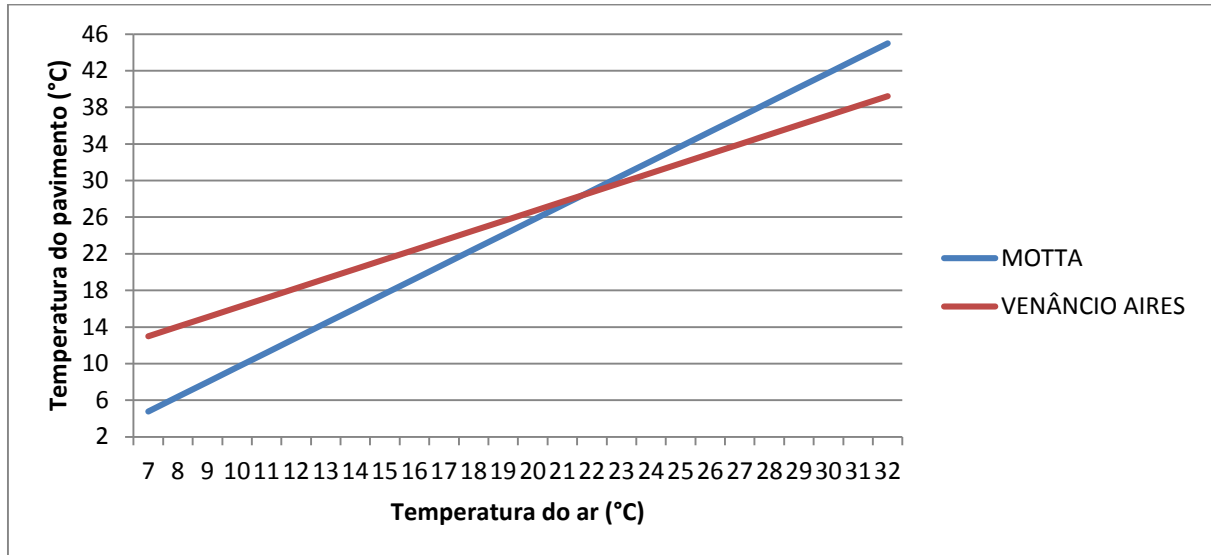
**Gráfico 27 - Comparação entre o modelo desenvolvido pelo Barker et al. (1977) e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever temperaturas máximas no pavimento através da temperatura do ar**



Fonte: Autor (2015).

Já o modelo desenvolvido por Motta (1991) para prever a temperatura máxima para o revestimento asfáltico com camada de até 6 cm de espessura, onde a mesma coletou as temperaturas entre 3 e 4 cm de profundidade, só se adapta com o modelo gerado neste estudo, quando a temperatura do ar encontrasse na faixa dos 19 °C a 24 °C, conforme ilustra o Gráfico 28 na página seguinte. Segundo KILPP (2004), este modelo foi desenvolvido no estado Rio de Janeiro, sendo assim, não é aconselhável empregá-lo em regiões de clima subtropical, como é o caso, até pelo fato da baixa aplicabilidade.

**Gráfico 28 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Motta (1991) e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima no pavimento através da temperatura do ar**

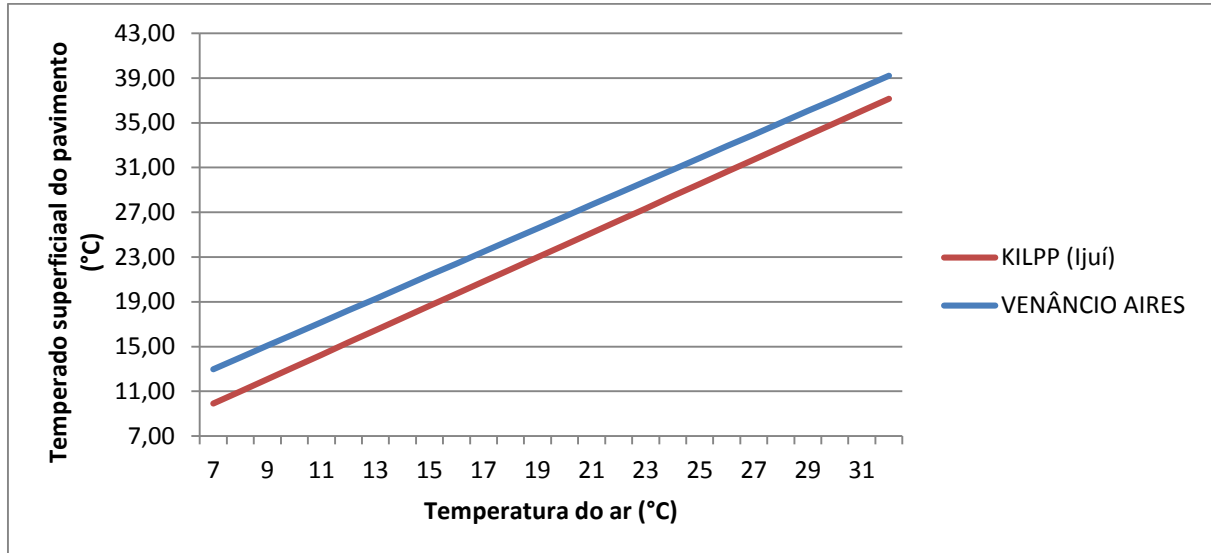


Fonte: Autor (2015).

Os modelos gerados por Kilpp (2004) apresentam características que variam de acordo com a variável adotada e o município que resultou a confecção da equação.

Quando se comparou o modelo gerado por ela para o município de Ijuí para prever a temperatura máxima na superfície do pavimento através da temperatura do ar com o nosso desenvolvido, não apresentou adaptabilidade nenhuma, porém há diferença de certa forma constante no valor de 3,5 °C, como se pode ver no Gráfico 29, ou seja, poderia se adaptar deste modelo para o caso apenas descontando tal valor. Mas o mais interessante é o fato deste modelo ter sido desenvolvido em um município de clima subtropical, e não apresentar adaptação nenhuma em seu modelo de previsão de temperatura máxima.

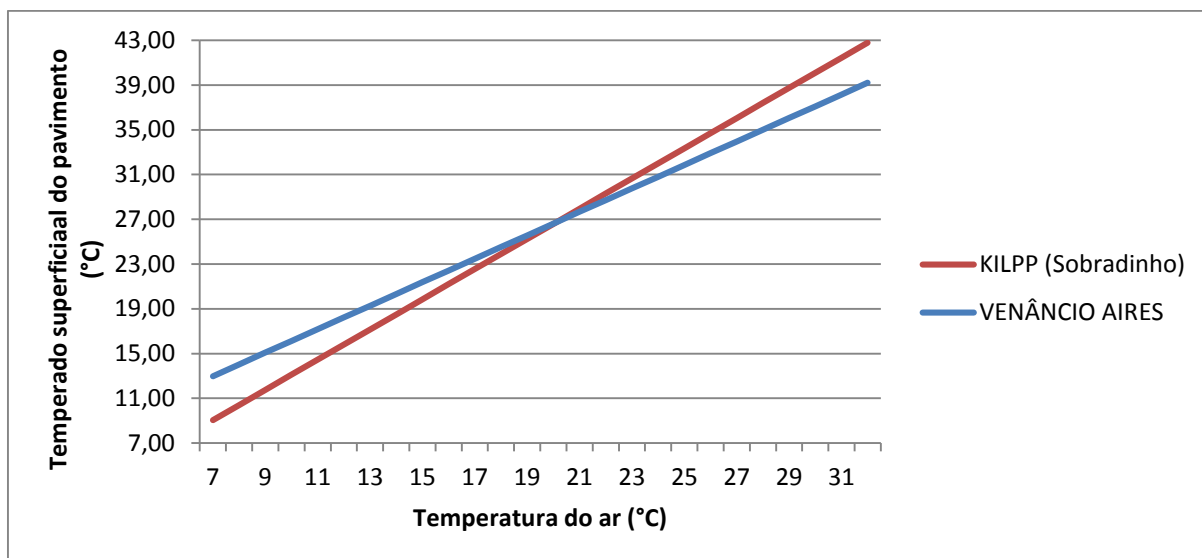
**Gráfico 29 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Ijuí e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima na superfície do pavimento através da temperatura do ar**



Fonte: Autor (2015).

Já o modelo gerado pela autora para o município de Sobradinho para prever também a temperatura máxima na superfície do pavimento através da temperatura do ar, quando comparado com o desenvolvido neste estudo, apresentou adaptação quando a temperatura do ar se encontra entre 16 a 24 °C, como se pode ver no Gráfico 30, ou seja, mesmo o ter o sido desenvolvido em um município de clima subtropical, não apresentou significativa adaptabilidade como o modelo Barker et al. (1977).

**Gráfico 30 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Sobradinho e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima na superfície do pavimento através da temperatura do ar**

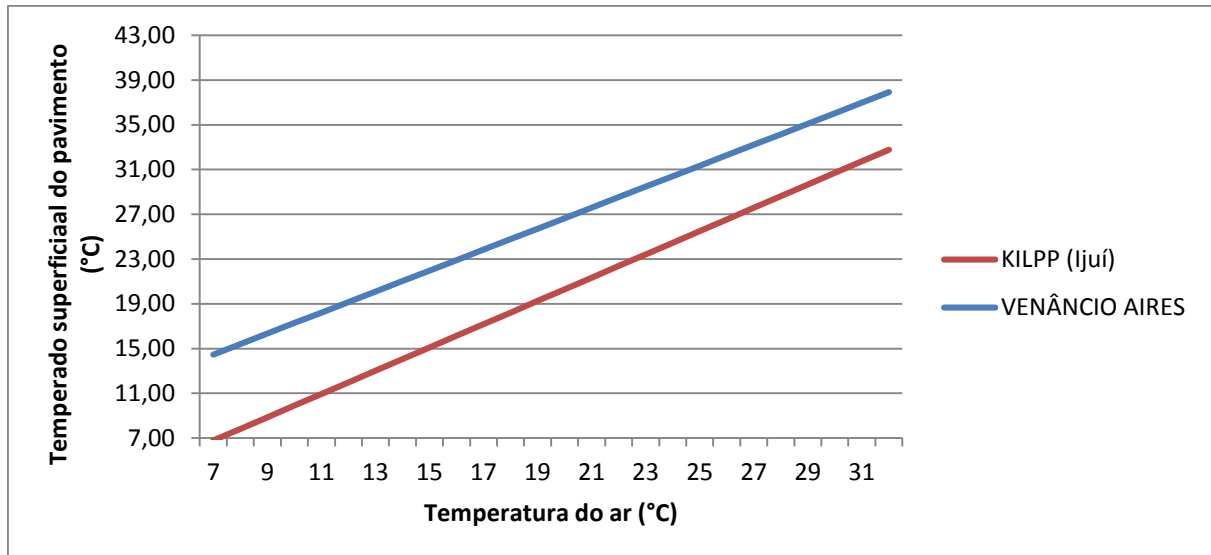


Fonte: Autor (2015).

Ao comparar o modelo gerado por Kilpp (2004) para o município de Ijuí para prever a temperatura mínima na superfície do pavimento através da temperatura do ar com o desenvolvido neste estudo, este novamente não apresentou adaptabilidade nenhuma com este caso, de acordo com o Gráfico 31, frisando, porém que este modelo foi desenvolvido em um município de clima subtropical.



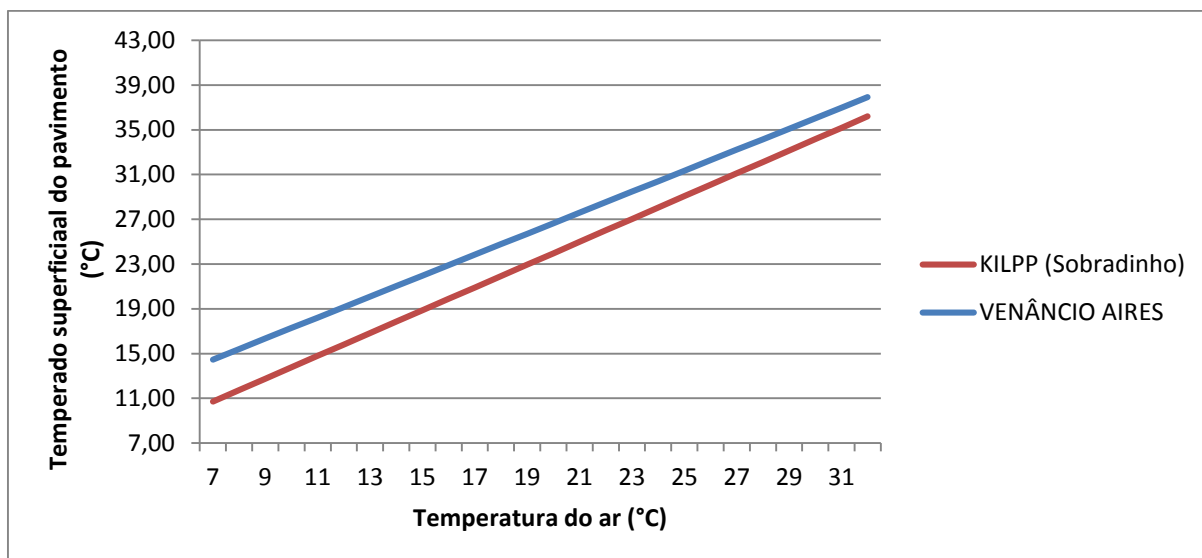
**Gráfico 31 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Ijuí e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura mínima na superfície do pavimento através da temperatura do ar**



Fonte: Autor (2015).

Já o modelo gerado por Kilpp (2004) para o município de Sobradinho com o intuito de prever também a temperatura mínima na superfície do pavimento através da temperatura do ar, quando comparado com o modelo desenvolvido neste estudo, também não apresentou adaptação, porém pode-se ver através do Gráfico 32, que há uma tendência a este modelo se adaptar em temperaturas do ar mais elevadas (superiores a 38°C).

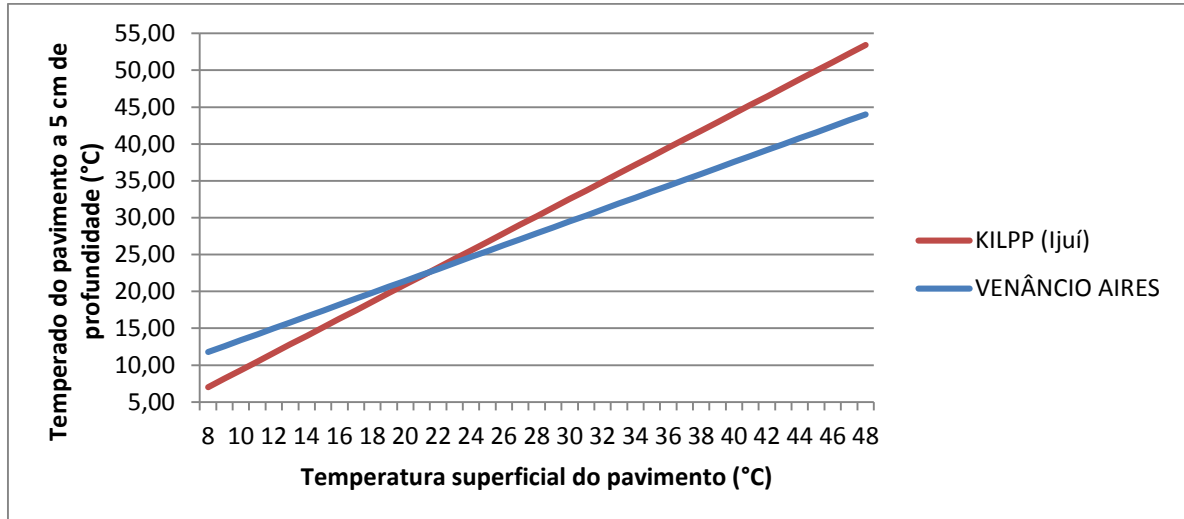
**Gráfico 32 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Sobradinho e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura mínima na superfície do pavimento através da temperatura do ar**



Fonte: Autor (2015).

Agora, quando se fez comparação com modelo gerado por Kilpp (2004) para o município de Ijuí para prever a temperatura máxima do pavimento asfáltico na profundidade de 5 cm através da temperatura superficial do mesmo com o gerado para o município de Venâncio Aires, este adaptou-se quando a temperatura superficial do pavimento se encontra entre 17° C a 25 °C, como pode-se ver no Gráfico 33 na página a seguir. É interessante observar que está é a faixa de temperatura média máxima registrada na superfície de um pavimento durante o final do outono e durante o inverno, assim condizendo com a nossa realidade.

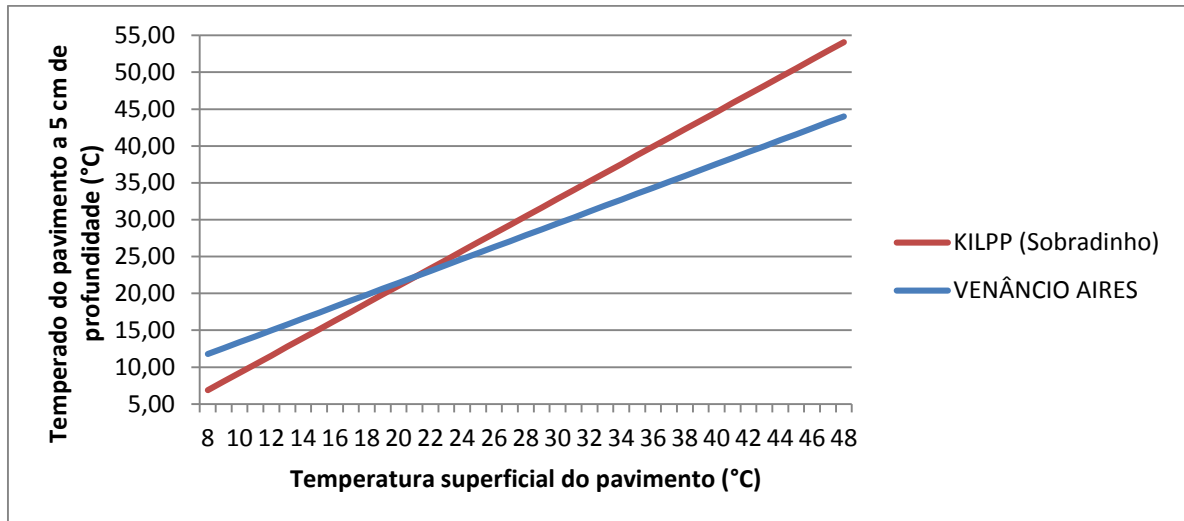
**Gráfico 33 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Ijuí e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento**



Fonte: Autor (2015).

A mesma adaptação do modelo de Ijuí com o do município de Venâncio Aires ocorre com o desenvolvido por Sobradinho para prever a temperatura máxima do pavimento asfáltico na profundidade de 5 cm através da temperatura superficial do mesmo, uma vez que sua adaptação ocorre no momento em que a temperatura superficial do pavimento encontra-se entre 18° C a 25 °C, como pode-se ver no Gráfico 34 na página a seguir.

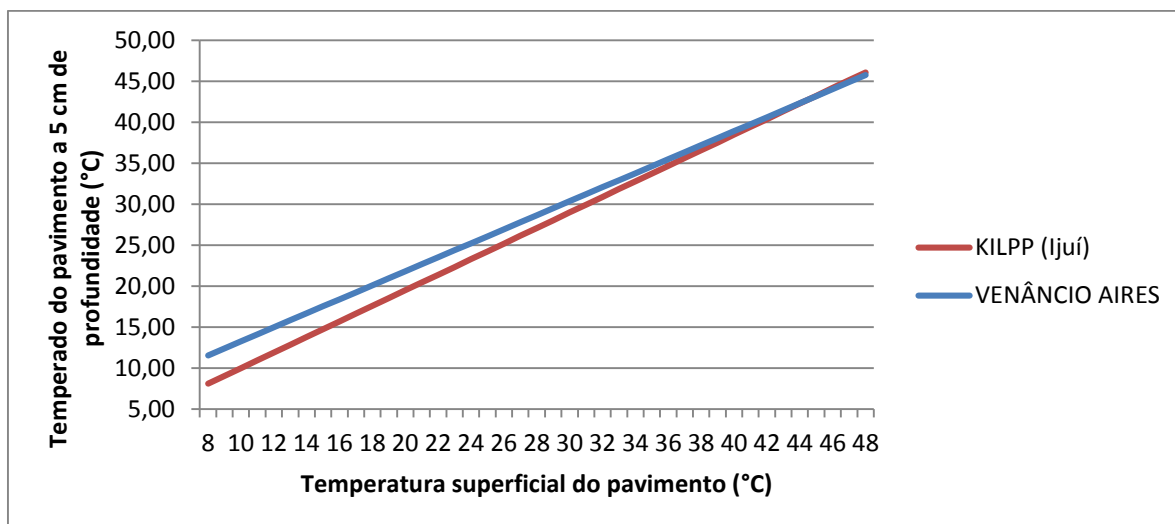
**Gráfico 34 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Sobradinho e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura máxima a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento**



Fonte: Autor (2015).

Já, quando se fez a comparação com modelo gerado por Kilpp (2004) para o município de Ijuí para prever a temperatura mínima do pavimento asfáltico na profundidade de 5 cm através da temperatura superficial do mesmo com o gerado para o município de Venâncio Aires, observou-se com o auxílio do Gráfico 35, a sua adaptação ocorre quando há o registro de temperaturas superiores a 35 °C na superfície do pavimento.

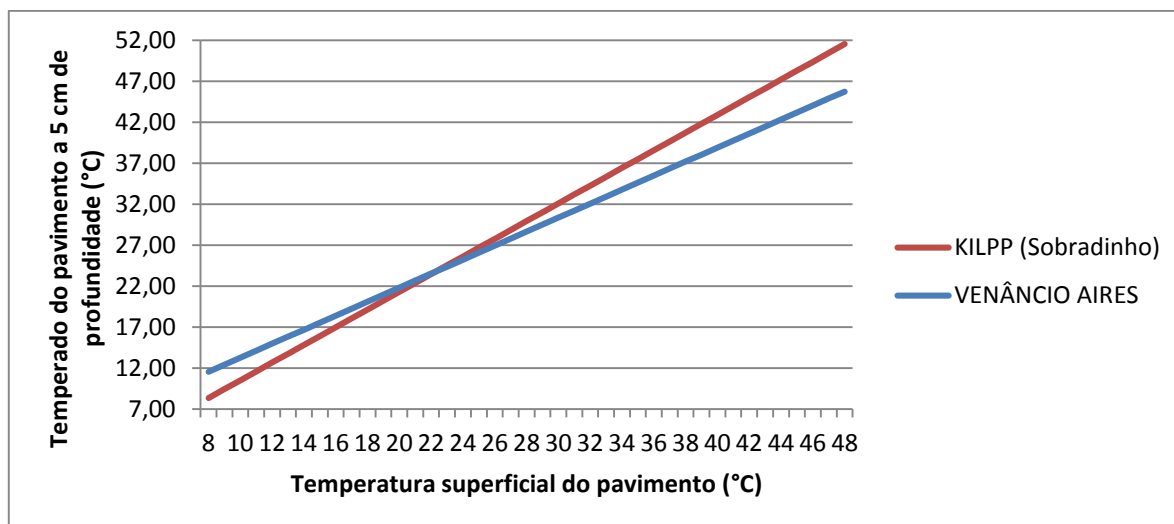
**Gráfico 35 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Ijuí e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura mínima a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento**



Fonte: Autor (2015).

E por fim, ao comparar com o modelo de Sobradinho para prever temperaturas mínimas do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento, conforme Gráfico 36, percebe-se que este se adapta para casos onde a temperatura superficial nos pavimentos do município de Venâncio Aires se encontram na faixa dos 18 a 28 °C. Diferente do que se viu no caso anterior onde se adaptada em elevadas temperaturas (superior a 35° C). Porém, um dos motivos de ter apresentado esta disparidade entre os dois casos é o fato da equação gerada para o município de Sobradinho ter apresentado um coeficiente de correlação baixo, ou seja, não está explicando bem o modelo gerado com os dados coletados.

**Gráfico 36 - Comparação entre o modelo desenvolvido por Kilpp (2004) para o município de Sobradinho e o modelo gerado para o município de Venâncio Aires para prever a temperatura mínima a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento**



Fonte: Autor (2015).

Após está comparação com dos modelos gerais confeccionados neste trabalho com os apresentados na revisão bibliográfica, nota-se a importância de um estudo de tal porte, dado que apenas o modelo de Barker et al. (1977) se adaptou muito bem ao nosso caso, para prever a temperatura máxima do pavimento através da temperatura do ar, como também os modelos desenvolvidos por Kilpp (2004) para o município de Ijuí apresentaram adaptação significativa, quando o intuito era prever a temperatura máxima e mínima do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento. Já o município de Sobradinho mostrou aplicabilidade ao nosso estudo, o modelo que previa a temperatura máxima do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento. Porém, os demais, se adaptavam em breves intervalos de temperatura, ou simplesmente não se adaptavam com este estudo. Por isso, dá necessidade de cada município confeccionar seu modelo, pois mesmo que ambas as cidades apresentam climas semelhantes, isto não quer dizer que o modelo gerado de uma se adaptará a outra e vice-versa, pois toda região tem suas características ímpares. Com isso, percebe-se que os modelos que vão se adaptar melhor com os dados coletados no município de Venâncio Aires serão os modelos gerados neste trabalho.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o encerramento deste estudo, podem-se obter conclusões de grande significância no que diz respeito a esta área abordada, pois se observou que os modelos gerados neste estudo, quando confrontado a temperatura do ar com a temperatura do pavimento, sendo este superficial ou ao longo de sua profundidade, demonstram ser um instrumento de grande utilidade para prever a temperatura do revestimento asfáltico que estamos ou iremos lidar, uma vez que demonstra estatisticamente alta relevância.

Observou-se que os modelos que correlacionam à temperatura superficial com a temperatura levantada nas profundidades que se deseja analisar, apresentam um índice de correlação ótimo, uma vez que os mesmos consideram o fator irradiação englobado em seu modelo gerado. Mas não que os modelos que correlacionam a temperatura do ar com a temperatura superficial e as respectivas profundidades do revestimento asfáltico não apresentem um índice de correlação satisfatório, entretanto, aqueles modelos explicam melhor os dados coletados em levantamentos do que estes.

Reparou-se que pavimentos com revestimento asfáltico exposto ao sol apresenta uma variação de temperatura mais elevada, se comparado a pavimentos exposto em locais com sombra, sendo este fato explicado basicamente pela propagação mais atuante de calor através do elemento irradiação.

Os modelos que relacionam temperatura do pavimento com temperatura do ar são de extrema relevância para futuras obras de novos pavimentos de revestimento asfáltico onde não há a existência de nenhum outro pavimento para se coletar medidas de temperatura, como também para utilizar como parâmetro em futuras obras naquela região onde ocorreu de fato o estudo, e para fins de correção de temperatura em ensaios deflectométricos que venham a ocorrer no pavimento.

Os modelos levantados no referencial teórico quando comparados aos nossos, apenas o de Barker et al. (1977) para prever a temperatura máxima do pavimento através da temperatura do ar e os de Kilpp (2004) desenvolvidos para o município de Ijuí, que previa a temperatura máxima e mínima do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento, como o de Sobradinho que previa também a temperatura máxima do revestimento asfáltico a 5 cm de profundidade através da temperatura superficial do pavimento

apresentaram adaptação significativa ao ponto de ser adotados no município. Já os demais ou se adaptavam em breves intervalos de temperatura, ou simplesmente não se enquadravam com este estudo.

Em síntese, os modelos desenvolvidos neste estudo com a finalidade de prever a temperatura máxima e mínima do pavimento é a forma para a obtenção de um prognóstico da temperatura no revestimento asfáltico, em específico para o município de Venâncio Aires, podendo também estes ser adotados ou não, como uma forma de prever a temperatura em pavimentos flexíveis localizados em regiões de clima subtropical, uma vez que se sabe que cada região tem suas características impares, mesmo localizada em clima semelhante.

Até sugere-se para futuros trabalhos, fazer a coleta de temperatura num período mais extenso, abrangendo mais de uma estação do ano, neste mesmo município e/ou em municípios da região dos vales do Rio Pardo e Taquari para fins de se obter um modelo para cada cidade e obtermos um banco de dados regional nesta área.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011. 12 p.

ALLGAYER, Eduardo; OLIVEIRA, Willian de. **Guia Venâncio Socioeconômico**. 2015. Disponível em: <<http://www.guiavenancio.com.br/dados-socioeconomicos.html>>. Acesso em 01 de junho de 2015.

ASPHALT INSTITUTE. **Superpave – performance grade asphalt – binder specification and testing**. Lexington, Superpave Series No2 (SP-1), 1994.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1988. 332 p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2008. 501 p.

CAMPOS, Maurício de, BOLACELL, Julio Cezar Oliveira, SPECHT, Luciano Pivotto, SALVADORI, Fabiano, CANAL, Ivan Paulo. **Monitoramento de Temperatura em Pavimentos Asfáltico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 2005, Campo Grande. Anais. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2004.

CHIQUETTO, Marcos José; PARADA, Antonio Augusto. **Física – Volume 2: Termologia, Óptica e Ondas**. São Paulo: Scipione, 1991.

ClimaTempo. **Climatológica do município de Venâncio Aires**. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/climatologia/1426/venancioaires-rs>>. Acesso em 20 de junho de 2015.

Confederação Nacional do Transporte – CNT. **Boletim Estatístico – Fevereiro 2015** Disponível em: <<http://cnt.org.br>>. Acesso em 30 de abril de 2015.

\_\_\_\_\_. CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias – relatório gerencia. 18ed. 2014**. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/index.aspx>>. Acesso em 01 de maio de 2015.

Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul (DAER-RS). **Mapa Rodoviário do estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <[http://www.daer.rs.gov.br/site/sistema\\_rodoviario\\_mapas.php](http://www.daer.rs.gov.br/site/sistema_rodoviario_mapas.php)> em arquivo no formato PDF. Acesso em 01 de junho de 2015.

\_\_\_\_\_. DAER-RS. **Solicitação de Informações sobre ERS-422**. Mensagem recebida por <03sr@daer.rs.gov.br> em 04 set 2015.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT. **Manual de Pavimentação**. 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimentacao\\_Versao\\_Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf)> Acesso em 01 de maio de 2015.

FLORES JACOBI, Luciane; MISSIO, Fabrício. **Variáveis dummy: especificações de modelos com parâmetros variáveis**. 2007. 26 p. Artigo. Curso de Ciências Econômicas -Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul e Departamento de Estatística - CCNE/UFSM, Santa Maria. 2007.

Geografalando. **Classificação climática do Brasil**. Disponível em: <<http://geografalando.blogspot.com.br/2013/05/clima-classificacao-climatica.html>> Acesso em 08 de maio de 2015.

Geógrafos. **Coordenadas Geográficas**. 2015. Disponível em: <<http://www.geografos.com.br/cidades-rio-grande-do-sul/venancio-aires.php>>. Acesso em: 01 de junho de 2015.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. **O desempenho dos pavimentos flexíveis**. 1999. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~pugliero/arquivos/09.pdf>>. Acesso em 27 de outubro de 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Atlas Escolar - Mapa do Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://atlasescolar.ibge.gov.br/mapas-atlas/mapas-do-brasil/federacao-e-territorio>>. Acesso em 28 de abril de 2015.

\_\_\_\_\_. IBGE. **Relevo e Clima brasileiro**. 2015. Disponível em: <<http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/relevo-e-clima>>. Acesso em 03 de maio de 2015

ÍNDIAS, Maria Amélia Cutileiro. **Curso de física**. Lisboa: McGraw-Hill do Brasil, c1992.

INCOTERM. **Termômetro Digital Tipo Espeto**. 2015. Disponível em: <<http://www.incoterm.com.br/tecnica/termometro+digital+tipo+espeto+c+capa+pro+tetora+6132>>. Acesso em 31 de maio de 2015.

KILPP, Raquel. **Desenvolvimento de modelos para previsão de temperatura em pavimentos flexíveis**. Ijuí. Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso – UNIJUI. 2004.

MARTINS, Gilberto de Andrade; DOMINGUES, Osmar. **Estatística geral e aplicada: utilizando a planilha Excel e o SPSS**. 5. ed., rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2014. xi, 399 p.

MATOS, Orlando Carneiro de. **Econometria básica: teoria e aplicações**. São Paulo: Atlas, 1995. 244 p.

MEDINA, J., MOTTA, L.M.G., **Mecânica dos Pavimentos**, 2ª Edição, Rio de Janeiro, 2005. 570 p.

MCMILLAN, Chuck et al. **Development of Performance Graded Binder selection method for canadian airport pavements**. federal aviation administration technology transfer conference, 1999.

MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critérios de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1991. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), COOPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421 p.

TERMOLAF – Instrumentos de Medição. **Termômetro Digital de Globo**. Disponível em: <<http://www.termolaf.com.br/053.asp>>. Acesso em 29 de maio de 2015.

TIBONI, Conceição Gentil Rebelo. **Estatística básica: para os cursos de administração, ciências contábeis, tecnológicas e de gestão**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 332 p.

VASSOLER, Grazielli. **Análise numérica do comportamento mecânico de pavimentos submetidos a variação de temperatura**. 2009. 123f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

VASSLOER, Grazielli; CHONG, Wang; SPECHT, Luciano Pivoto. **Comportamento mecânico de pavimentos flexíveis submetidos a gradientes térmicos**. 2011. 07 f. Artigo (Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática)- Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011.

VENÂNCIO AIRES, Município. **Solicitação de Informações sobre ERS-422**. Mensagem recebida por <[planejamento@venancioaires.rs.gov.br](mailto:planejamento@venancioaires.rs.gov.br)> em 27 out 2015.

VESENTINI, José William. **Sociedade e espaço: geografia geral e do Brasil**. 33. ed., reform. e atual. São Paulo: Ática, 1996. 351 p.

VIEIRA, Cristiane Schmitt. **Desempenho de um Pavimento Flexível Solicitado por Simulador de Tráfego**. 2002. 149 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002

VASSLOER, Grazielli; CHONG, Wang; SPECHT, Luciano Pivoto. **Comportamento mecânico de pavimentos flexíveis submetidos a gradientes térmicos**. 2011. 07 f. Artigo (Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática)- Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011.

## APÊNDICE

## APÊNDICE A – COLETA DE TEMPERATURAS NO PONTO 1 (NO SOL)

Data	Hora	T ar	Temperatura no Pavimento				
			Ponto 1 (Sol)				
			0	1	3	5	7
04/04/2015	9:00	23,80	30,30	28,80	28,30	27,20	26,70
04/04/2015	11:00	28,80	40,10	38,40	38,20	35,20	33,40
04/04/2015	13:00	31,30	47,50	43,30	42,60	39,20	37,90
04/04/2015	15:00	31,80	46,70	44,30	44,00	42,80	41,10
04/04/2015	17:00	28,70	36,10	36,90	38,90	39,90	39,40
04/04/2015	19:00	25,20	30,30	31,90	33,20	34,80	34,30
02/05/2015	9:00	19,00	19,40	21,10	21,10	21,00	20,90
02/05/2015	11:00	20,90	23,30	24,90	24,90	24,10	23,50
02/05/2015	13:00	23,10	28,50	28,40	28,10	27,10	26,20
02/05/2015	15:00	23,40	26,40	26,90	27,30	27,00	26,80
02/05/2015	17:00	21,20	22,40	24,30	24,90	25,20	25,40
02/05/2015	19:00	18,80	19,40	21,30	21,90	22,90	23,50
19/06/2015	9:00	7,70	9,00	7,40	7,80	8,20	9,20
19/06/2015	11:00	10,70	15,80	17,20	17,90	17,20	16,30
19/06/2015	13:00	10,60	25,80	23,20	24,80	24,60	23,50
19/06/2015	15:00	11,10	21,20	21,40	22,40	22,60	22,20
19/06/2015	17:00	11,00	17,60	19,60	20,00	20,90	21,10
19/06/2015	19:00	7,10	8,20	11,90	13,10	14,80	15,40

## APÊNDICE B – COLETA DE TEMPERATURAS NO PONTO 2 (NA SOMBRA)

Data	Hora	T ar	Temperatura no Pavimento				
			Ponto 2 (Sombra)				
			0	1	3	5	7
04/04/2015	9:10	24,10	31,80	30,10	29,70	28,80	28,30
04/04/2015	11:10	30,00	40,00	37,60	37,20	35,40	33,80
04/04/2015	13:10	31,70	41,10	43,90	42,80	40,30	37,50
04/04/2015	15:10	31,80	42,70	42,70	42,60	41,70	40,00
04/04/2015	17:10	28,20	33,60	34,90	36,40	37,20	37,10
04/04/2015	19:10	25,20	30,60	31,00	32,30	33,20	33,70
02/05/2015	9:10	18,90	19,40	21,20	21,30	21,20	21,20
02/05/2015	11:10	20,90	22,50	24,20	24,10	23,80	23,30
02/05/2015	13:10	22,80	26,80	27,60	27,20	26,50	25,70
02/05/2015	15:10	23,00	24,80	25,90	26,10	26,20	26,10
02/05/2015	17:10	20,90	23,00	23,90	24,30	24,40	24,90
02/05/2015	19:10	18,50	19,20	21,20	21,20	22,20	23,10
19/06/2015	9:10	8,30	9,40	11,80	11,00	10,60	11,30
19/06/2015	11:10	10,10	18,60	20,20	20,00	18,10	17,00
19/06/2015	13:10	10,90	24,60	25,00	26,70	26,00	23,20
19/06/2015	15:10	10,80	20,40	22,60	24,50	24,30	23,90
19/06/2015	17:10	10,60	18,00	18,10	20,00	20,80	21,00
19/06/2015	19:10	7,10	8,80	11,80	13,50	14,80	15,40

**APÊNDICE C – INTRODUÇÃO DOS DADOS COLETADOS NO SOFTWARE SPSS PARA OBTENÇÃO DOS MODELOS GERADOS NESTE TRABALHO**

Data	Hora	Prof.	Tar 1	Temperatura máx	Tar 2	Temperatura min	Temperatura 0cm máx	Temperatura 0cm min	Prof. 1cm	Prof. 3cm	Prof. 5cm	Prof. 7cm	VAR00001
04/abr/15	9:00:00 AM	1	23,8	28,8	24,1	30,1	30,3	31,8	1	0	0	0	1
04/abr/15	11:00:00 AM	1	28,8	38,4	30,0	37,6	40,1	40,0	1	0	0	0	1
04/abr/15	1:00:00 PM	1	31,3	43,3	31,7	43,9	47,5	41,1	1	0	0	0	1
04/abr/15	3:00:00 PM	1	31,8	44,3	31,8	42,7	46,7	42,7	1	0	0	0	1
04/abr/15	5:00:00 PM	1	28,7	36,9	28,2	34,9	36,1	33,6	1	0	0	0	1
04/abr/15	7:00:00 PM	1	25,2	31,9	25,2	31,0	30,3	30,6	1	0	0	0	1
02/mai/15	9:00:00 AM	1	19,0	21,1	18,9	21,2	19,4	19,4	1	0	0	0	1
02/mai/15	11:00:00 AM	1	20,9	24,9	20,9	24,2	23,3	22,5	1	0	0	0	1
02/mai/15	1:00:00 PM	1	23,1	28,4	22,8	27,6	28,5	26,8	1	0	0	0	1
02/mai/15	3:00:00 PM	1	23,4	26,9	23,0	25,9	26,4	24,8	1	0	0	0	1
02/mai/15	5:00:00 PM	1	21,2	24,3	20,9	23,9	22,4	23,0	1	0	0	0	1
02/mai/15	7:00:00 PM	1	18,8	21,3	18,5	21,2	19,4	19,2	1	0	0	0	1
19/jun/15	9:00:00 AM	1	7,7	7,4	8,3	11,8	9,0	9,4	1	0	0	0	1
19/jun/15	11:00:00 AM	1	10,7	17,2	10,1	20,2	15,8	18,6	1	0	0	0	1
19/jun/15	1:00:00 PM	1	10,6	23,2	10,9	25,0	25,8	24,6	1	0	0	0	1
19/jun/15	3:00:00 PM	1	11,1	21,4	10,8	22,6	21,2	20,4	1	0	0	0	1
19/jun/15	5:00:00 PM	1	11,0	19,6	10,6	18,1	17,6	18,0	1	0	0	0	1
19/jun/15	7:00:00 PM	1	7,1	11,9	7,1	11,8	8,2	8,8	1	0	0	0	1
04/abr/15	9:00:00 AM	3	23,8	28,3	24,1	29,7	30,3	31,8	0	1	0	0	3
04/abr/15	11:00:00 AM	3	28,8	38,2	30,0	37,2	40,1	40,0	0	1	0	0	3
04/abr/15	1:00:00 PM	3	31,3	42,6	31,7	42,8	47,5	41,1	0	1	0	0	3
04/abr/15	3:00:00 PM	3	31,8	44,0	31,8	42,6	46,7	42,7	0	1	0	0	3
04/abr/15	5:00:00 PM	3	28,7	38,9	28,2	36,4	36,1	33,6	0	1	0	0	3

04/abr/15	7:00:00 PM	3	25,2	33,2	25,2	32,3	30,3	30,6	0	1	0	0	3
02/mai/15	9:00:00 AM	3	19,0	21,1	18,9	21,3	19,4	19,4	0	1	0	0	3
02/mai/15	11:00:00 AM	3	20,9	24,9	20,9	24,1	23,3	22,5	0	1	0	0	3
02/mai/15	1:00:00 PM	3	23,1	28,1	22,8	27,2	28,5	26,8	0	1	0	0	3
02/mai/15	3:00:00 PM	3	23,4	27,3	23,0	26,1	26,4	24,8	0	1	0	0	3
02/mai/15	5:00:00 PM	3	21,2	24,9	20,9	24,3	22,4	23,0	0	1	0	0	3
02/mai/15	7:00:00 PM	3	18,8	21,9	18,5	21,2	19,4	19,2	0	1	0	0	3
19/jun/15	9:00:00 AM	3	7,7	7,8	8,3	11,0	9,0	9,4	0	1	0	0	3
19/jun/15	11:00:00 AM	3	10,7	17,9	10,1	20,0	15,8	18,6	0	1	0	0	3
19/jun/15	1:00:00 PM	3	10,6	24,8	10,9	26,7	25,8	24,6	0	1	0	0	3
19/jun/15	3:00:00 PM	3	11,1	22,4	10,8	24,5	21,2	20,4	0	1	0	0	3
19/jun/15	5:00:00 PM	3	11,0	20,0	10,6	20,0	17,6	18,0	0	1	0	0	3
19/jun/15	7:00:00 PM	3	7,1	13,1	7,1	13,5	8,2	8,8	0	1	0	0	3
04/abr/15	9:00:00 AM	5	23,8	27,2	24,1	28,8	30,3	31,8	0	0	1	0	5
04/abr/15	11:00:00 AM	5	28,8	35,2	30,0	35,4	40,1	40,0	0	0	1	0	5
04/abr/15	1:00:00 PM	5	31,3	39,2	31,7	40,3	47,5	41,1	0	0	1	0	5
04/abr/15	3:00:00 PM	5	31,8	42,8	31,8	41,7	46,7	42,7	0	0	1	0	5
04/abr/15	5:00:00 PM	5	28,7	39,9	28,2	37,2	36,1	33,6	0	0	1	0	5
04/abr/15	7:00:00 PM	5	25,2	34,8	25,2	33,2	30,3	30,6	0	0	1	0	5
02/mai/15	9:00:00 AM	5	19,0	21,0	18,9	21,2	19,4	19,4	0	0	1	0	5
02/mai/15	11:00:00 AM	5	20,9	24,1	20,9	23,8	23,3	22,5	0	0	1	0	5
02/mai/15	1:00:00 PM	5	23,1	27,1	22,8	26,5	28,5	26,8	0	0	1	0	5
02/mai/15	3:00:00 PM	5	23,4	27,0	23,0	26,2	26,4	24,8	0	0	1	0	5
02/mai/15	5:00:00 PM	5	21,2	25,2	20,9	24,4	22,4	23,0	0	0	1	0	5
02/mai/15	7:00:00 PM	5	18,8	22,9	18,5	22,2	19,4	19,2	0	0	1	0	5
19/jun/15	9:00:00 AM	5	7,7	8,2	8,3	10,6	9,0	9,4	0	0	1	0	5
19/jun/15	11:00:00 AM	5	10,7	17,2	10,1	18,1	15,8	18,6	0	0	1	0	5
19/jun/15	1:00:00 PM	5	10,6	24,6	10,9	26,0	25,8	24,6	0	0	1	0	5
19/jun/15	3:00:00 PM	5	11,1	22,6	10,8	24,3	21,2	20,4	0	0	1	0	5



19/jun/15	5:00:00 PM	5	11,0	20,9	10,6	20,8	17,6	18,0	0	0	1	0	5
19/jun/15	7:00:00 PM	5	7,1	14,8	7,1	14,8	8,2	8,8	0	0	1	0	5
04/abr/15	9:00:00 AM	7	23,8	26,7	24,1	28,3	30,3	31,8	0	0	0	1	7
04/abr/15	11:00:00 AM	7	28,8	33,4	30,0	33,8	40,1	40,0	0	0	0	1	7
04/abr/15	1:00:00 PM	7	31,3	37,9	31,7	37,5	47,5	41,1	0	0	0	1	7
04/abr/15	3:00:00 PM	7	31,8	41,1	31,8	40,0	46,7	42,7	0	0	0	1	7
04/abr/15	5:00:00 PM	7	28,7	39,4	28,2	37,1	36,1	33,6	0	0	0	1	7
04/abr/15	7:00:00 PM	7	25,2	34,3	25,2	33,7	30,3	30,6	0	0	0	1	7
02/mai/15	9:00:00 AM	7	19,0	20,9	18,9	21,2	19,4	19,4	0	0	0	1	7
02/mai/15	11:00:00 AM	7	20,9	23,5	20,9	23,3	23,3	22,5	0	0	0	1	7
02/mai/15	1:00:00 PM	7	23,1	26,2	22,8	25,7	28,5	26,8	0	0	0	1	7
02/mai/15	3:00:00 PM	7	23,4	26,8	23,0	26,1	26,4	24,8	0	0	0	1	7
02/mai/15	5:00:00 PM	7	21,2	25,4	20,9	24,9	22,4	23,0	0	0	0	1	7
02/mai/15	7:00:00 PM	7	18,8	23,5	18,5	23,1	19,4	19,2	0	0	0	1	7
19/jun/15	9:00:00 AM	7	7,7	9,2	8,3	11,3	9,0	9,4	0	0	0	1	7
19/jun/15	11:00:00 AM	7	10,7	16,3	10,1	17,0	15,8	18,6	0	0	0	1	7
19/jun/15	1:00:00 PM	7	10,6	23,5	10,9	23,2	25,8	24,6	0	0	0	1	7
19/jun/15	3:00:00 PM	7	11,1	22,2	10,8	23,9	21,2	20,4	0	0	0	1	7
19/jun/15	5:00:00 PM	7	11,0	21,1	10,6	21,0	17,6	18,0	0	0	0	1	7
19/jun/15	7:00:00 PM	7	7,1	15,4	7,1	15,4	8,2	8,8	0	0	0	1	7

**APÊNDICE D – RELATÓRIO SPSS – MODELO GERADO ATRAVÉS DAS  
VARIÁVEIS: TEMPERATURA SUPERFICIAL DO PAVIMENTO  
E TEMPERATURA DO AR**

**Regressão**

**Variáveis Inseridas/Removidas**

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Profundidade=7 cm, Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol), Profundidade=5 cm, Profundidade=3 cm, Temperatura 0 cm máxima - Ponto 1 (Sol)		. Inserir

**Sumarização do modelo**

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,971	<b>,943</b>	,939	2,2691

**ANOVA**

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	5647,623	5	1129,525	219,366	,000
	Resíduo	339,836	66	5,149		
	Total	5987,459	71			

### Coeficientes

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados		95,0% Intervalo de Confiança para B		Estatísticas de colinearidade		
		B	Erro Padrão	Beta	t	Sig.	Limite inferior	Limite superior	Tolerância	VIF
1	(Constante)	<b>4,501</b>	,856		5,259	,000	2,792	6,210		
	Temperatura 0 cm máxima - Ponto 1 (Sol)	<b>,626</b>	,057	,750	11,082	,000	,514	,739	,188	5,325
	Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)	<b>,274</b>	,078	,239	3,530	,001	,119	,429	,188	5,325
	Profundidade=3 cm	<b>,456</b>	,756	,022	,602	,549	-1,055	1,966	,667	1,500
	Profundidade=5 cm	<b>,194</b>	,756	,009	,257	,798	-1,316	1,705	,667	1,500
	Profundidade=7 cm	<b>-,244</b>	,756	-,012	-,323	,748	-1,755	1,266	,667	1,500

### Diagnóstico de colinearidade

Modelo	Dimensão	Autovalor	Índice de condição	Proporções de variância					
				(Constante)	Temperatura 0 cm máxima -	Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)	Profundidade=3 cm	Profundidade=5 cm	Profundidade=7 cm
1	1	3,654	1,000	,01	,00	,00	,01	,01	,01
	2	1,000	1,912	,00	,00	,00	,27	,00	,23
	3	1,000	1,912	,00	,00	,00	,07	,33	,10
	4	,258	3,763	,00	,02	,02	,44	,44	,44
	5	,073	7,065	,99	,04	,02	,22	,22	,22
	6	,014	15,982	,01	,94	,96	,00	,00	,00

## Regressão

## Variáveis Inseridas/Removidas

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Profundidade=7 cm, Temperatura do ar - Ponto 2 (Sombra), Profundidade=5 cm, Profundidade=3 cm, Temperatura 0 cm mínima - Ponto 2 (Sombra)		Inserir

## Sumarização do modelo

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,976	<b>,953</b>	,949	1,9075

## ANOVA

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	4816,574	5	963,315	264,757	,000
	Resíduo	240,141	66	3,638		
	Total	5056,715	71			

### Coeficientes

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Sig.	95,0% Intervalo de Confiança para B		Estatísticas de colinearidade	
		B	Erro Padrão	Beta			Limite inferior	Limite superior	Tolerância	VIF
1	(Constante)	<b>4,665</b>	,746		6,253	,000	3,176	6,155		
	Temperatura 0 cm mínima	<b>,793</b>	,057	,904	13,973	,000	,679	,906	,172	5,812
	Temperatura do ar - Ponto	<b>,082</b>	,067	,078	1,210	,231	-,053	,216	,172	5,812
	Profundidade=3 cm	<b>,400</b>	,636	,021	,629	,531	-,869	1,669	,667	1,500
	Profundidade=5 cm	<b>,100</b>	,636	,005	,157	,876	-1,169	1,369	,667	1,500
	Profundidade=7 cm	<b>-,400</b>	,636	-,021	-,629	,531	-1,669	,869	,667	1,500

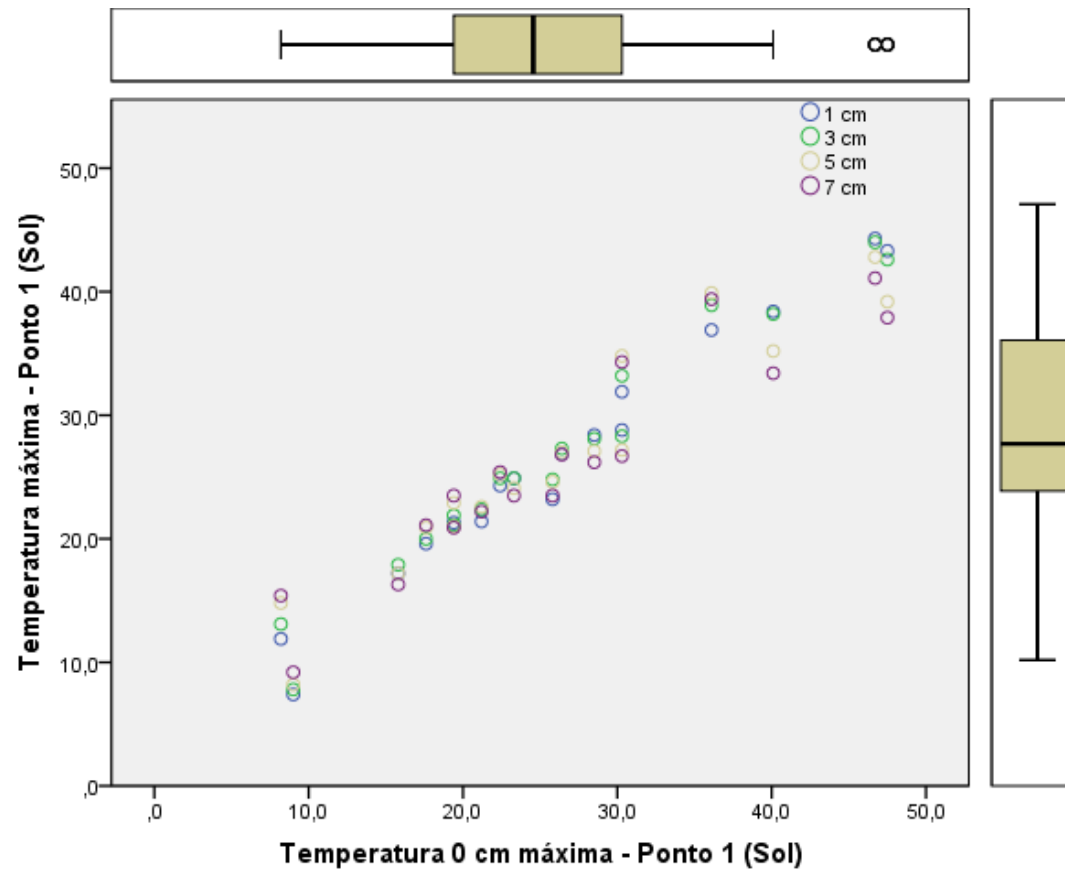
### Diagnóstico de colinearidade

Modelo	Dimensão	Autovalor	Índice de condição	Proporções de variância					
				(Constante)	Temperatura 0 cm mínima -	Temperatura do ar - Ponto 2	Profundidade=3 cm	Profundidade=5 cm	Profundidade=7 cm
1	1	3,667	1,000	,01	,00	,00	,01	,01	,01
	2	1,000	1,915	,00	,00	,00	,08	,09	,33
	3	1,000	1,915	,00	,00	,00	,25	,25	,00
	4	,252	3,815	,00	,01	,02	,46	,46	,46
	5	,070	7,257	,96	,02	,04	,20	,20	,20
	6	,012	17,496	,03	,97	,94	,00	,00	,00

**APÊNDICE E – RELATÓRIO SPSS MOSTRANDO A ALTA CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DO AR E A DA SUPERFÍCIE E OS GRÁFICOS GERADOS COM OS DADOS COLETADOS**

STATS REGRESS

GGraph

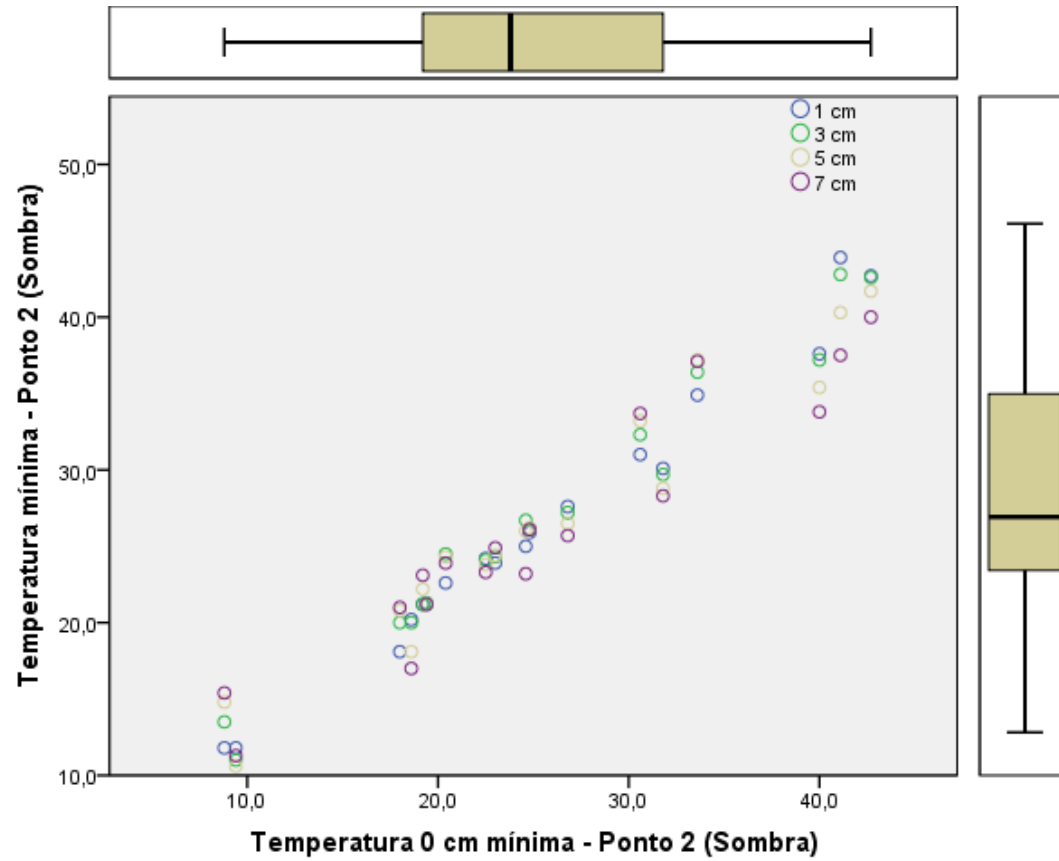


## Correlações

		Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)	Temperatura máxima - Ponto 1 (Sol)	Temperatura do ar - Ponto 2 (Sombra)	Temperatura mínima - Ponto 2 (Sombra)	Temperatura 0 cm máxima - Ponto 1 (Sol)	Temperatura 0 cm mínima - Ponto 2 (Sombra)
Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)	Correlação de Pearson	1	<b>,915</b>	,999	,899	,901	,903
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000	,000	,000
	N	72	72	72	72	72	72
Temperatura máxima - Ponto 1 (Sol)	Correlação de Pearson	,915	1	,913	,991	,965	,959
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,000	,000
	N	72	72	72	72	72	72
Temperatura do ar - Ponto 2 (Sombra)	Correlação de Pearson	,999	,913	1	,900	,907	,910
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000	,000	,000
	N	72	72	72	72	72	72
Temperatura mínima - Ponto 2 (Sombra)	Correlação de Pearson	,899	,991	,900	1	,980	,975
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000		,000	,000
	N	72	72	72	72	72	72
Temperatura 0 cm máxima - Ponto 1 (Sol)	Correlação de Pearson	<b>,901</b>	,965	,907	,980	1	,989
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000		,000
	N	72	72	72	72	72	72
Temperatura 0 cm mínima - Ponto 2 (Sombra)	Correlação de Pearson	,903	,959	<b>,910</b>	,975	,989	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	72	72	72	72	72	72

STATS REGRESS

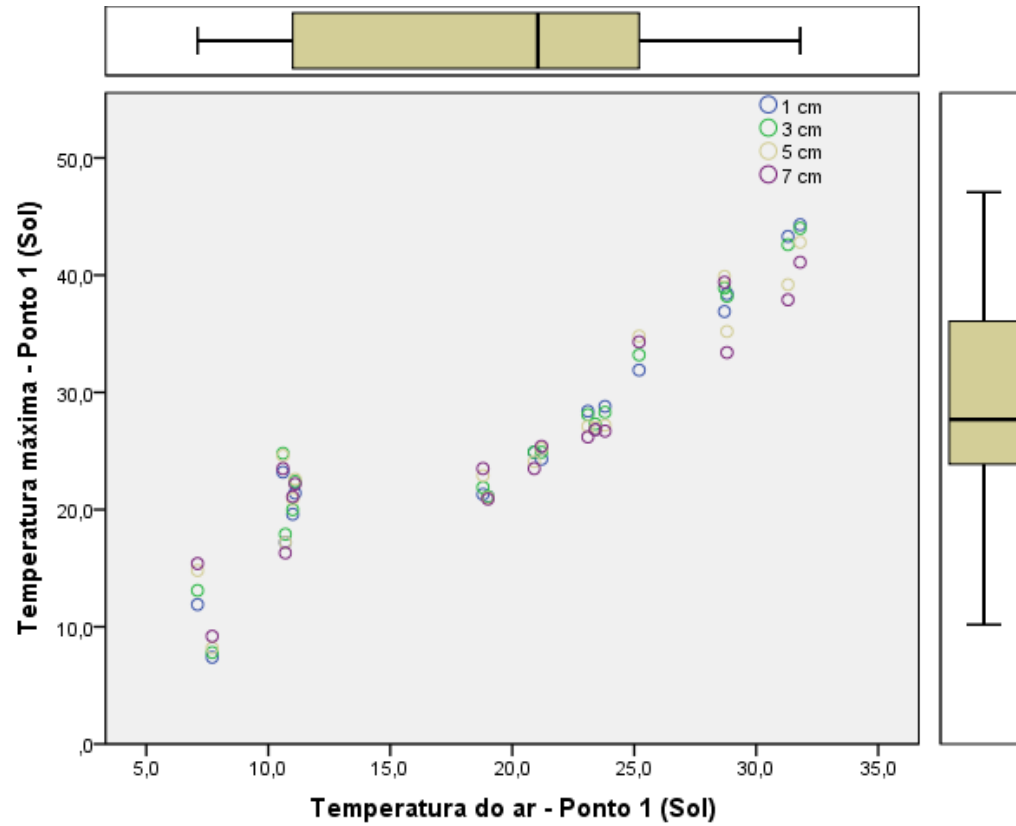
GGraph





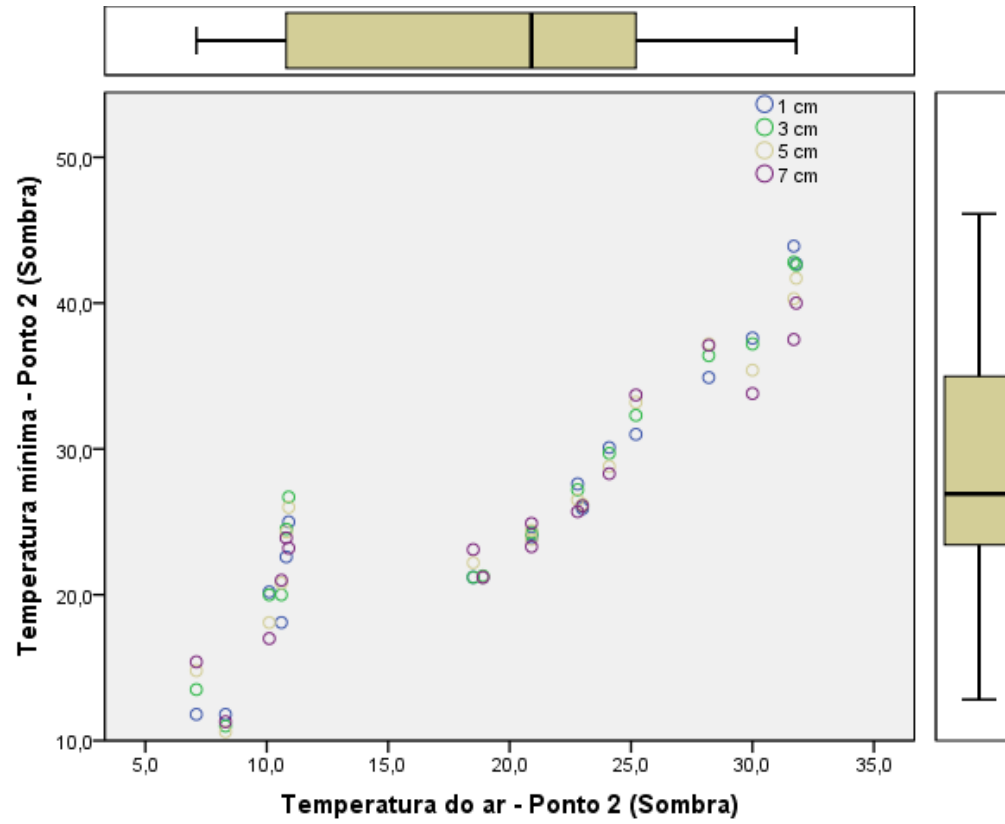
STATS REGRESS

GGraph



STATS REGRESS

Graph



**APÊNDICE F – RELATÓRIO SPSS REGRESSÃO LINEAR COM MODELO DE PREVISÃO DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA PARA O MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES EM DIFERENTES PROFUNDIDADES ATRAVÉS DA VARIÁVEL TEMPPERATURA SUPPERFICIAL (0 cm)**

**Regressão**

**Variáveis Inseridas/Removidas**

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Profundidade=7 cm, Temperatura 0 cm máxima - Ponto 1 (Sol), Profundidade=5 cm, Profundidade=3 cm		. Inserir

**Sumarização do modelo**

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,966	<b>,933</b>	,928	2,4556

**ANOVA**

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	5583,458	4	1395,865	231,492	,000
	Resíduo	404,001	67	6,030		
	Total	5987,459	71			

### Coeficientes

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados		95,0% Intervalo de Confiança para B		Estatísticas de colinearidade		
		B	Erro Padrão	Beta	t	Sig.	Limite inferior	Limite superior	Tolerância	VIF
1	(Constante)	<b>5,217</b>	,900		5,797	,000	3,421	7,013		
	Temperatura 0 cm máxima - Ponto 1 (Sol)	<b>,806</b>	,027	,965	30,417	,000	,753	,859	1,000	1,000
	Profundidade=3 cm	<b>,456</b>	,819	,022	,557	,580	-1,178	2,089	,667	1,500
	Profundidade=5 cm	<b>,194</b>	,819	,009	,238	,813	-1,439	1,828	,667	1,500
	Profundidade=7 cm	<b>-,244</b>	,819	-,012	-,299	,766	-1,878	1,389	,667	1,500

### Diagnóstico de colinearidade

Modelo	Dimensão	Autovalor	Índice de condição	Proporções de variância				
				(Constante)	Temperatura 0 cm máxima - Ponto 1 (Sol)	Profundidade=3 cm	Profundidade=5 cm	Profundidade=7 cm
1	1	2,725	1,000	,01	,02	,02	,02	,02
	2	1,000	1,651	,00	,00	,21	,00	,28
	3	1,000	1,651	,00	,00	,12	,33	,05
	4	,209	3,613	,02	,25	,50	,50	,50
	5	,066	6,433	,97	,73	,15	,15	,15

## Regressão

### Variáveis Inseridas/Removidas

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Profundidade=7 cm, Temperatura 0 cm mínima - Ponto 2 (Sombra), Profundidade=5 cm, Profundidade=3 cm		. Inserir

### Sumarização do modelo

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,975	<b>,951</b>	,949	1,9141

### ANOVA

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	4811,251	4	1202,813	328,310	,000
	Resíduo	245,464	67	3,664		
	Total	5056,715	71			

## Coeficientes

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Sig.	95,0% Intervalo de Confiança para B		Estatísticas de colinearidade	
		B	Erro Padrão	Beta			Limite inferior	Limite superior	Tolerância	VIF
1	(Constante)	<b>4,688</b>	,748		6,264	,000	3,194	6,182		
	Temperatura 0 cm mínima - Ponto 2 (Sombra)	<b>,855</b>	,024	,975	36,216	,000	,808	,902	1,000	1,000
	Profundidade=3 cm	<b>,400</b>	,638	,021	,627	,533	-,873	1,673	,667	1,500
	Profundidade=5 cm	<b>,100</b>	,638	,005	,157	,876	-,173	1,373	,667	1,500
	Profundidade=7 cm	<b>-,400</b>	,638	-,021	-,627	,533	-,673	,873	,667	1,500

## Diagnóstico de colinearidade

Modelo	Dimensão	Autovalor	Índice de condição	Proporções de variância				
				(Constante)	Temperatura 0 cm mínima - Ponto 2 (Sombra)	Profundidade=3 cm	Profundidade=5 cm	Profundidade=7 cm
1	1	2,742	1,000	,01	,02	,02	,02	,02
	2	1,000	1,656	,00	,00	,22	,28	,00
	3	1,000	1,656	,00	,00	,11	,06	,33
	4	,201	3,691	,02	,19	,53	,53	,53
	5	,057	6,964	,97	,80	,11	,11	,11

**APÊNDICE G – RELATÓRIO SPSS REGRESSÃO LINEAR COM MODELO DE PREVISÃO DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA PARA O MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES EM DIFERENTES PROFUNDIDADES ATRAVÉS DA VARIÁVEL TEMPPERATURA DO AR**

**Regressão**

**Variáveis Inseridas/Removidas**

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Profundidade=7 cm, Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol), Profundidade=5 cm, Profundidade=3 cm		Inserir

**Sumarização do modelo**

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,915	,838	,828	3,8093

**ANOVA**

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	5015,262	4	1253,816	86,408	,000
	Resíduo	972,197	67	14,510		
	Total	5987,459	71			

**Coefficientes**

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Sig.	95,0% Intervalo de Confiança para B		Estatísticas de colinearidade	
		B	Erro Padrão	Beta			Limite inferior	Limite superior	Tolerância	VIF
1	(Constante)	<b>5,535</b>	1,428		3,875	,000	2,684	8,386		
	Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)	<b>1,049</b>	,056	,915	18,582	,000	,936	1,162	1,000	1,000
	Profundidade=3 cm	<b>,456</b>	1,270	,022	,359	,721	-2,079	2,990	,667	1,500
	Profundidade=5 cm	<b>,194</b>	1,270	,009	,153	,879	-2,340	2,729	,667	1,500
	Profundidade=7 cm	<b>-,244</b>	1,270	-,012	-,193	,848	-2,779	2,290	,667	1,500

**Diagnóstico de colinearidade**

Modelo	Dimensão	Autovalor	Índice de condição	Proporções de variância				
				(Constante)	Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)	Profundidade=3 cm	Profundidade=5 cm	Profundidade=7 cm
1	1	2,732	1,000	,01	,02	,02	,02	,02
	2	1,000	1,653	,00	,00	,25	,25	,00
	3	1,000	1,653	,00	,00	,08	,08	,33
	4	,206	3,643	,02	,22	,51	,51	,51
	5	,062	6,616	,97	,76	,14	,14	,14



## Regressão

### Variáveis Inseridas/Removidas

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Profundidade=7 cm, Temperatura do ar - Ponto 2 (Sombra), Profundidade=5 cm, Profundidade=3 cm		. Inserir

### Sumarização do modelo

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,901	,812	,801	3,7667

### ANOVA

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	4106,130	4	1026,532	72,353	,000
	Resíduo	950,585	67	14,188		
	Total	5056,715	71			

## Coeficientes

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Sig.	95,0% Intervalo de Confiança para B		Estatísticas de colinearidade	
		B	Erro Padrão	Beta			Limite inferior	Limite superior	Tolerância	VIF
1	(Constante)	<b>7,872</b>	1,402		5,616	,000	5,074	10,671		
	Temperatura do ar - Ponto 2 (Sombra)	<b>,938</b>	,055	,900	17,000	,000	,828	1,049	1,000	1,000
	Profundidade=3 cm	<b>,400</b>	1,256	,021	,319	,751	-2,106	2,906	,667	1,500
	Profundidade=5 cm	<b>,100</b>	1,256	,005	,080	,937	-2,406	2,606	,667	1,500
	Profundidade=7 cm	<b>-,400</b>	1,256	-,021	-,319	,751	-2,906	2,106	,667	1,500

## Diagnóstico de colinearidade

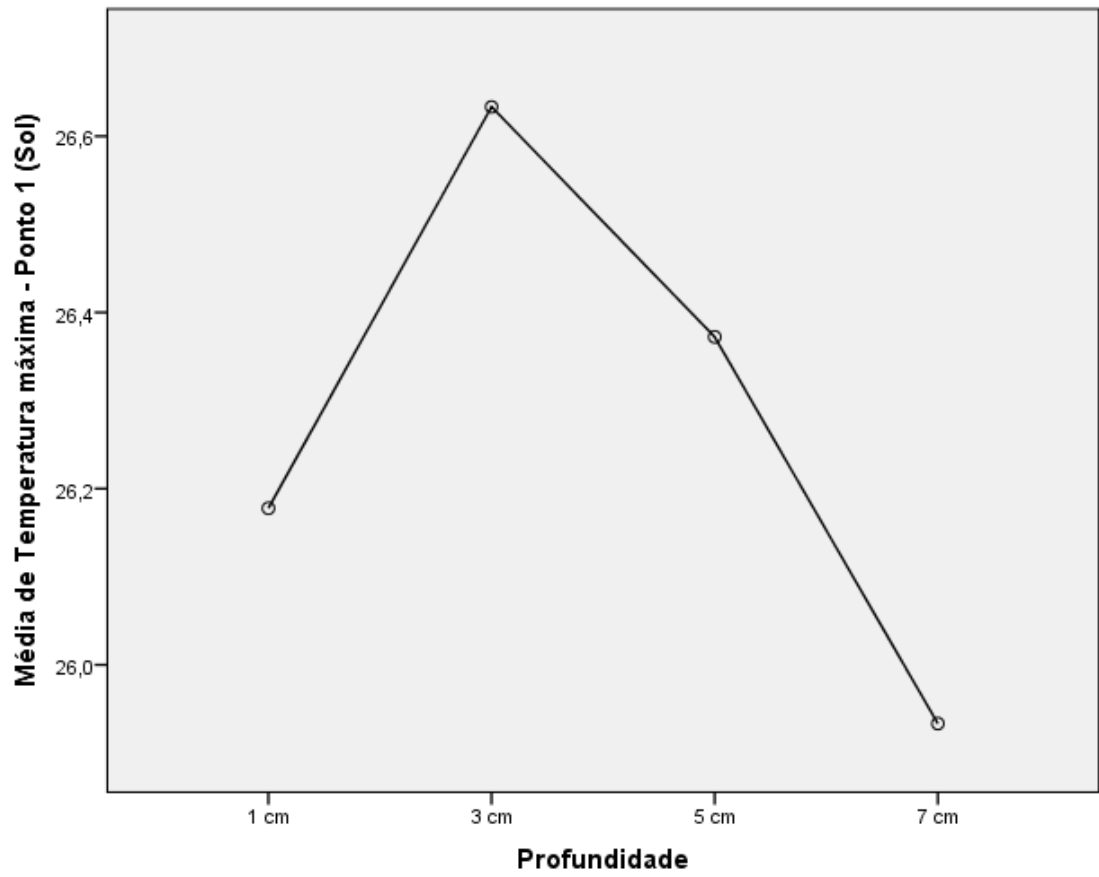
Modelo	Dimensão	Autovalor	Índice de condição	Proporções de variância				
				(Constante)	Temperatura do ar - Ponto 2	Profundidade=3 cm	Profundidade=5 cm	Profundidade=7 cm
1	1	2,730	1,000	,01	,02	,02	,02	,02
	2	1,000	1,652	,00	,00	,25	,00	,25
	3	1,000	1,652	,00	,00	,09	,33	,08
	4	,207	3,633	,02	,23	,51	,51	,51
	5	,064	6,556	,97	,75	,14	,14	,14

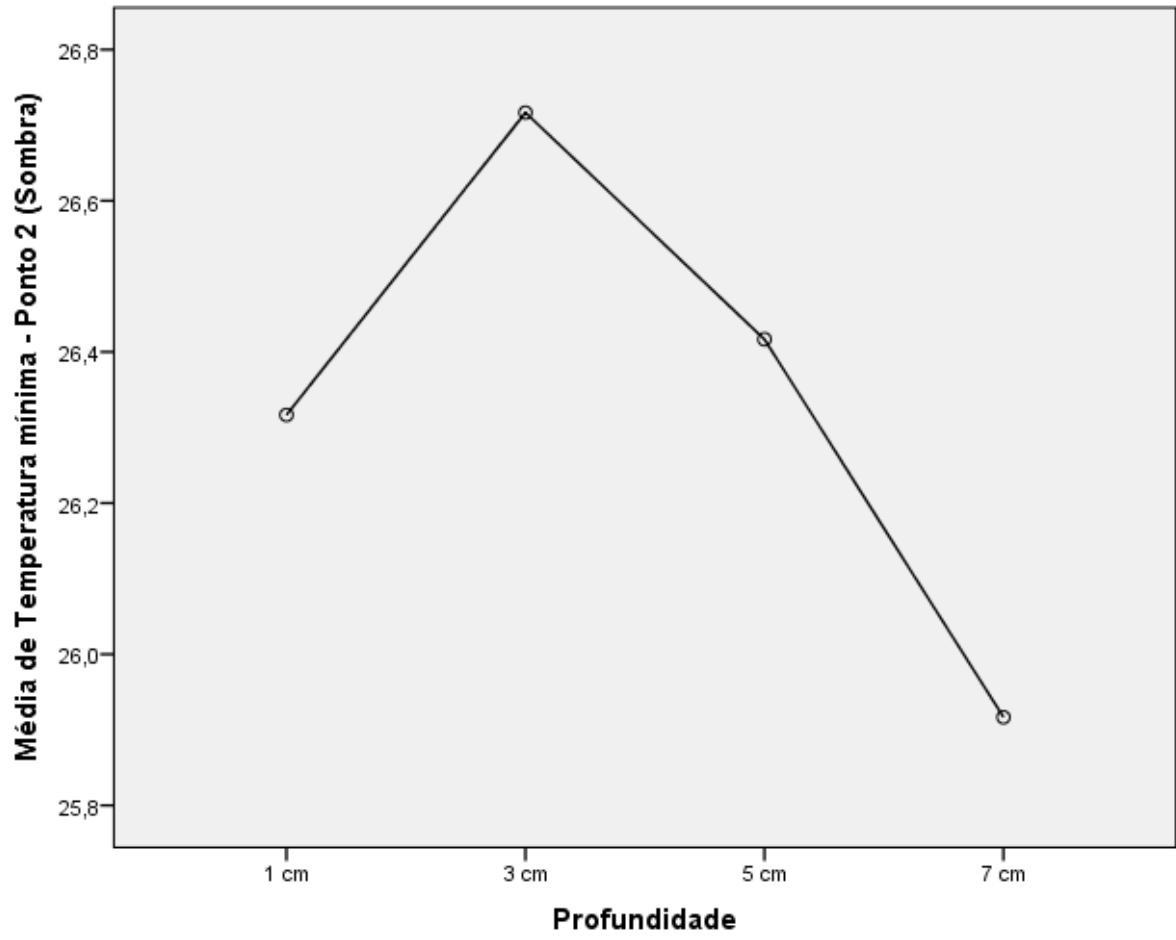
## APÊNDICE H – RELATÓRIO SPSS - COMPARAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS MÉDIAS EM CADA PROFUNDIDADE

Comparação entre as temperaturas médias em cada profundidade:

		Descritivas							
		N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Intervalo de confiança de 95% para média		Mínimo	Máximo
						Limite inferior	Limite superior		
Temperatura máxima - Ponto 1 (Sol)	1 cm	18	<b>26,178</b>	9,9934	2,3555	21,208	31,147	7,4	44,3
	3 cm	18	<b>26,633</b>	9,7851	2,3064	21,767	31,499	7,8	44,0
	5 cm	18	<b>26,372</b>	9,1106	2,1474	21,842	30,903	8,2	42,8
	7 cm	18	<b>25,933</b>	8,5618	2,0180	21,676	30,191	9,2	41,1
	Total	72	<b>26,279</b>	9,1832	1,0822	24,121	28,437	7,4	44,3
Temperatura mínima - Ponto 2 (Sombra)	1 cm	18	<b>26,317</b>	9,1435	2,1551	21,770	30,864	11,8	43,9
	3 cm	18	<b>26,717</b>	8,8935	2,0962	22,294	31,139	11,0	42,8
	5 cm	18	<b>26,417</b>	8,4764	1,9979	22,201	30,632	10,6	41,7
	7 cm	18	<b>25,917</b>	7,9094	1,8643	21,983	29,850	11,3	40,0
	Total	72	<b>26,342</b>	8,4393	,9946	24,359	28,325	10,6	43,9

## Gráficos de médias





## APÊNDICE I – RELATÓRIO SPSS REGRESSÃO LINEAR COM MODELO DE PREVISÃO DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA PARA O MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES ATRAVÉS DA VARIÁVEL TEMPERATURA SUPERFICIAL DO PAVIMENTO

### Regressão Linear

#### Método Stepwise de seleção das variáveis

#### Temperatura máxima:

##### Variáveis Inseridas/Removidas

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Temperatura 0 cm máxima - Ponto 1 (Sol)		Stepwise (Critérios: Probabilidade de F a ser inserido $\leq$ ,050, Probabilidade de F a ser removido $\geq$ ,100).

##### Sumarização do modelo

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,965	,932	,931	2,4165

##### ANOVA

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	5578,707	1	5578,707	955,370	,000
	Resíduo	408,752	70	5,839		
	Total	5987,459	71			

##### Coeficientes

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados		t	Sig.	Estatísticas de colinearidade	
		B	Erro	Beta				Tolerância	VIF
1	(Constante)	5,318	,736			7,231	,000		
	Temperatura 0 cm máxima - Ponto 1 (Sol)	,806	,026	,965		30,909	,000	1,000	1,000

## Variáveis excluídas

Modelo	Beta In	t	Sig.	Correlação parcial	Estatísticas de colinearidade			
					Tolerância	VIF	Tolerância mínima	
1	Profundidade=3 cm	,022	,716	,477	,086	1,000	1,000	1,000
	Profundidade=5 cm	,006	,187	,852	,023	1,000	1,000	1,000
	Profundidade=7 cm	-,022	-,699	,487	-,084	1,000	1,000	1,000

## Temperatura mínima:

### Regressão

#### Variáveis Inseridas/Removidas

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Temperatura 0 cm mínima - Ponto 2 (Sombra)		Stepwise (Critérios: Probabilidade de F a ser inserido $\leq$ ,050, Probabilidade de F a ser removido $\geq$ ,100).

#### Sumarização do modelo

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,975	,950	,950	1,8950

#### ANOVA

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	4805,356	1	4805,356	1338,223	,000
	Resíduo	251,359	70	3,591		
	Total	5056,715	71			

#### Coefficientes

Modelo		Coefficients não padronizados		Coefficients padronizados		Estatísticas de colinearidade		
		B	Erro Padrão	Beta	t	Sig.	Tolerância	VIF
1	(Constante)	<b>4,713</b>	,632		7,458	,000		
	Temperatura 0 cm mínima - Ponto 2 (Sombra)	<b>,855</b>	,023	,975	36,582	,000	1,000	1,000

#### Variáveis excluídas

Modelo		Beta In	t	Sig.	Correlação parcial	Estatísticas de colinearidade		
						Tolerância	VIF	Tolerância mínima
1	Profundidade=3 cm	,026	,969	,336	,116	1,000	1,000	1,000
	Profundidade=5 cm	,005	,193	,848	,023	1,000	1,000	1,000
	Profundidade=7 cm	-,029	-1,100	,275	-,131	1,000	1,000	1,000



## APÊNDICE J – RELATÓRIO SPSS REGRESSÃO LINEAR COM MODELO DE PREVISÃO DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA PARA O MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES ATRAVÉS DA VARIÁVEL TEMPPERATURA DO AR

### Regressão Linear

#### Método Stepwise de seleção das variáveis

#### Temperatura máxima:

##### Variáveis Inseridas/Removidas

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)		Stepwise (Critérios: Probabilidade de F a ser inserido $\leq$ ,050, Probabilidade de F a ser removido $\geq$ ,100).

##### Sumarização do modelo

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,915	,837	,835	3,7358

##### ANOVA

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	5010,511	1	5010,511	359,012	,000
	Resíduo	976,948	70	13,956		
	Total	5987,459	71			

**Coeficientes**

Modelo		Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados		Estatísticas de colinearidade		
		B	Erro Padrão	Beta	t	Sig.	Tolerância	VIF
1	(Constante)	5,637	1,175		4,797	,000		
	Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)	1,049	,055	,915	18,948	,000	1,000	1,000

**Variáveis excluídas**

Modelo		Beta In	t	Sig.	Correlação parcial	Estatísticas de colinearidade		
						Tolerância	VIF	Tolerância mínima
1	Profundidade=3 cm	,022	,462	,646	,056	1,000	1,000	1,000
	Profundidade=5 cm	,006	,121	,904	,015	1,000	1,000	1,000
	Profundidade=7 cm	-,022	-,451	,653	-,054	1,000	1,000	1,000

**Diagnóstico de colinearidade**

Modelo	Dimensão	Autovalor	Índice de condição	Proporções de variância	
				(Constante)	Temperatura do ar - Ponto 1 (Sol)
1	1	1,927	1,000	,04	,04
	2	,073	5,143	,96	,96

## Regressão Linear

### Temperatura mínima:

#### Variáveis Inseridas/Removidas

Modelo	Variáveis inseridas	Variáveis removidas	Método
1	Temperatura do ar - Ponto 2 (Sombra)		Stepwise (Critérios: Probabilidade de F a ser inserido $\leq$ ,050, Probabilidade de F a ser removido $\geq$ ,100).

#### Sumarização do modelo

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,900	,811	,808	3,6965

#### ANOVA

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	4100,235	1	4100,235	300,076	,000
	Resíduo	956,480	70	13,664		
	Total	5056,715	71			

#### Coefficientes

Modelo		Coefficients não padronizados		Coefficients padronizados		Estatísticas de colinearidade		
		B	Erro Padrão	Beta	t	Sig.	Tolerância	VIF
1	(Constante)	7,897	1,150		6,865	,000		
	Temperatura do ar - Ponto 2 (Sombra)	,938	,054	,900	17,323	,000	1,000	1,000

## Variáveis excluídas

		Estatísticas de colinearidade						
Modelo		Beta In	t	Sig.	Correlação parcial	Tolerância	VIF	Tolerância mínima
1	Profundidade=3 cm	,026	,494	,623	,059	1,000	1,000	1,000
	Profundidade=5 cm	,005	,099	,922	,012	1,000	1,000	1,000
	Profundidade=7 cm	-,029	-,560	,577	-,067	1,000	1,000	1,000

## Diagnóstico de colinearidade

		Proporções de variância				
Modelo	Dimensão	Autovalor	Índice de condição	(Constante)	Temperatura do ar - Ponto 2 (Sombra)	
1	1	1,926	1,000	,04	,04	
	2	,074	5,085	,96	,96	