



Revista Brasileira de Energias Renováveis

TERMODINÂMICA APLICADA A PROCESSOS CLIMÁTICOS¹

Eliana Suzy Wakassugui dos Santos², Ritchielli Cristine Schröder³, Carlos H. Coimbra-Araújo⁴

¹Aceito para publicação, 2º trimestre de 2013.

²Graduanda em Tecnologia em Biocombustíveis, Monitora da disciplina Termodinâmica (bolsista), Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná

³Graduanda em Tecnologia em Biotecnologia, Aluna de Iniciação Científica (voluntária), Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná

⁴Doutor em Ciências, Mestre em Ciências, Engenheiro Eletrônico, Professor Adjunto 2, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná

Palavras-chave: Termodinâmica, Ciclo de Carnot, Climatologia, Entropia.

Resumo

A termodinâmica tem uma gama muito ampla de aplicações, uma vez que é utilizada em uma grande variedade de disciplinas científicas e processos tecnológicos. Este trabalho concentra-se em ciências do ambiente e estudo de exemplos de como um modelo simples de motor de Carnot e uma teoria da produção de entropia pode esclarecer sobre o sistema climático da Terra e como consequência a compreensão das mudanças climáticas por fatores antropogênicos e outras influências. Este modelo é verificado, também, para o caso das tecnologias ambientais como processos de energias renováveis. Baseado nos cálculos da Eficiência de Carnot, para aspectos climáticos, utilizou-se a temperatura média do Equador e foram coletadas temperaturas médias máximas de cem cidades, do hemisfério sul, durante o verão e inverno e, cem cidades do hemisfério norte também no período de verão e inverno, sendo que em ambas deduziu-se um conjunto de eficiências de Carnot. Os resultados estão dispostos em tabelas e em alguns gráficos, onde são associadas as latitudes com os resultados dos cálculos da eficiência de Carnot para cada cidade. Como conclusão do trabalho, pode-se dizer que, nos hemisférios tanto norte quanto sul, no inverno há maior eficiência de Carnot do que no verão. Localidades afastadas do Equador apresentam uma maior eficiência de Carnot, devido ao trabalho termodinâmico que, para distribuir calor, torna-se maior, ou seja, a transferência de calor neste espaço é maior se comparado a cidades localizadas no trópico do

Equador. Assimetrias entre os invernos do hemisfério norte e sul são observadas, o que demonstra que possivelmente o grau de industrialização, bem como a disposição das cidades no hemisfério norte criam uma curva menos acentuada que aquela do hemisfério sul.

Introdução

A termodinâmica tem uma gama muito ampla de aplicações, uma vez que é usada em uma grande variedade de disciplinas científicas e processos tecnológicos. Sendo o elemento essencial do desenvolvimento de diversas ciências aplicadas e áreas de conhecimento tecnológico, a Termodinâmica abrange aplicações variadas como a oceanografia, a geologia e ciências ambientais, dentre as quais meteorologia, climatologia e ecologia, sendo também o elemento essencial da formulação de modelos descritivos, explicativos e preditivos de fenômenos naturais tais como o comportamento da atmosfera, dos oceanos e outros fenômenos relacionados ao clima. (FIGUEIRO, 2008)

A segunda lei da termodinâmica, do ponto de vista macroscópico, pode ser entendida como uma lei de evolução no sentido de definir a seta do tempo. Que define processos reversíveis que ocorrem em constante equilíbrio e processos irreversíveis onde a energia útil perdida no processo nos leva a um sistema que evolui de maneira degradativa. No processo irreversível após o sistema ter caminhado por um caminho o mesmo não pode retornar ao ponto de início sem provocar mudanças na vizinhança assim sendo necessário empregar trabalho ao sistema. O enunciado de Kelvin nos diz que: *não há nenhum processo no qual calor é extraído de uma fonte e convertido inteiramente em trabalho útil, sem nenhuma outra consequência para o resto do universo.*

O termo "sem nenhuma outra consequência" indica que o processo deve voltar ao estado original, ou seja, o processo deve ser reversível e portanto denomina-se processos cíclicos e a formulação de Kelvin poderia ser enunciada de outra forma: *não há nenhuma máquina térmica operando ciclicamente capaz de retirar calor de um reservatório e convertê-lo integralmente em trabalho.* Desse enunciado segue o seguinte teorema de Carnot: *nenhuma máquina térmica que opere entre duas fontes diferentes de calor pode ter rendimento superior ao de uma máquina de Carnot.* Sendo assim tal máquina é utilizada como comparação em máquinas reais para calcular suas eficiências.

A Climatologia tem o seu estudo voltado à espacialização dos elementos e fenômenos atmosféricos e de sua evolução. Constituindo o estudo científico do clima, a Climatologia trata dos padrões de comportamento atmosférico em suas interações com as

atividades antropogênicas e com a superfície do Planeta durante um longo período de tempo [4] [5]. De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 15) [2], os elementos que constituem o clima são a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica que, em suas diferentes manifestações, variam espacial e temporalmente em decorrência da influência da latitude, altitude, maritimidade, continentalidade, vegetação e atividades humanas, que são fatores geográficos do clima. Sendo um dos constituintes do clima, a latitude influencia principalmente na temperatura de um local, estando inversamente proporcional a esta, já que quanto maior a latitude menor a temperatura, pois a variação de redução ocorre sempre quando se desloca do Equador em direção aos pólos.

Este trabalho concentra-se em ciências do ambiente e estudo de exemplos de como um modelo simples de motor de Carnot e uma teoria da produção de entropia pode lançar alguma luz sobre o sistema climático para uma abordagem como a Terra e a consequente compreensão das mudanças climáticas por fatores antropogênicos e outras influências. O presente trabalho tem por objetivo calcular a eficiência de Carnot, a partir de latitudes de duzentas cidades do globo terrestre, utilizando as temperaturas médias máximas durante o inverno e o verão, assim também associada às temperaturas médias máximas da linha do Equador, onde os resultados facilmente nos levam a compreender que a Terra pode ser considerada uma grande máquina térmica, cujo fluxo de calor ocorre partindo do Equador para as maiores latitudes, em um sistema de produção de entropia. O trabalho gerado no processo induz aos diversos climas e fenômenos de circulação conhecidos no planeta Terra.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No globo terrestre nota-se que a radiação solar possui uma maior incidência entre os trópicos, como mostra a figura 1, possuindo uma maior incidência hora no hemisfério norte no trópico de câncer, denominando a estação do verão e, portanto estação de inverno ao sul do planeta, ao contrario também é verdadeiro quando os raios solares incidem com maior frequência no hemisfério sul, no tropico de capricórnio, denominando a estação de verão e consequentemente inverno no hemisfério norte, isso devido à inclinação da Terra somado ao movimento de translação, fazendo com que um dos hemisférios receba mais radiação solar do que o outro hemisfério em determinadas épocas do ano.



Figura 1: Estações do ano

Outro fator importante se dá pela diferença de temperatura e pressão da Terra que para levar a uma distribuição de calor dos trópicos aos pólos é necessário os ventos, originando-se da diferença de temperatura que ocorre no globo, promovendo um aquecimento nos trópicos, o ar torna-se mais leve e sua entropia maior, assim ao chegar aos pólos os ventos sofrem um resfriamento, onde o ar resfria-se e torna-se mais denso com uma entropia menor, com esta diferença de pressão e entropia os ventos se deslocam no globo indo do Equador para os pólos e vice-versa com isso dando origem às correntes de ventos. Segundo Geomundo [7], para o movimento cíclico das correntes de ventos isso se deve ao Efeito de Coriolis, tratasse da tendência que qualquer corpo ou fluido em movimento mudar seu curso devido à direção rotacional e da velocidade da Terra.

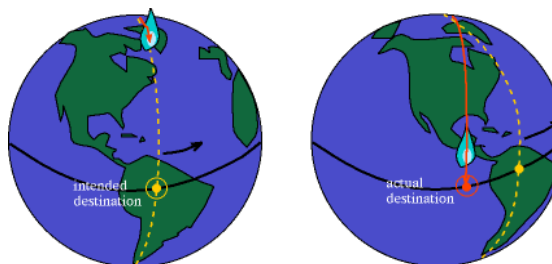


Figura 2: Efeito Coriolis

As máquinas térmicas reversíveis têm a finalidade de gerar trabalho mecânico a partir de pelo menos duas fontes de calor em temperaturas diferentes, estabelecendo um ciclo de operação, sendo que a máquina térmica ideal é a de Carnot por esta maximizar ganhos, já que o trabalho pode ser extraído sem alterar a entropia do universo (OLIVEIRA, 2003)[4].

Carnot (1824) concluiu que o melhor aproveitamento dependia apenas das temperaturas das fontes quente e fria operando em um ciclo, assim também denominado ciclo de Carnot.

O ciclo de Carnot é um ciclo idealizado, reversível, no qual o fluido operante é um gás perfeito, que corresponde a duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas, intercaladas. Tal ciclo nos proporciona teoricamente qual seria a maior porcentagem em eficiência de uma máquina térmica real.

Material e Métodos

Tendo em vista que a termodinâmica é a ciência que trata de calor, trabalho e da relação entre ambos, seria de fácil compreensão utilizá-la para definir a Terra como uma grande máquina térmica, e ainda se possível de quantificar qual a eficiência da mesma em transportar este calor para todo o globo. Para isso foi inicialmente realizado a pesquisa de cem cidades do hemisfério norte nas estações de inverno e verão e outras cem cidades do hemisfério sul nas estações de inverno e verão, obtendo suas temperaturas médias máximas para cada estação, acima mencionada, e as latitudes correspondentes. Para o cálculo da eficiência, utiliza-se a equação da eficiência de Carnot, descrita abaixo. Sendo utilizada a temperatura média do Equador como T_2 , e como T_1 as temperaturas médias máximas de cem cidades, do hemisfério sul e hemisfério norte durante o verão e inverno, na década de 2000 a 2010, dando origem a um conjunto de eficiências de Carnot (η).

Equação da eficiência de Carnot.

$$\eta = \frac{|T_2 - T_1|}{|T_1|} \quad (1)$$

As latitudes são dadas em graus e os minutos e segundos correspondentes foram transformados para o sistema decimal para facilitar os cálculos, dando origem às Tabelas 1 e 2

Resultados

Alguns processos climáticos produzem entropia, ou seja, onde o ar está sujeito a uma pressão maior num lado do globo que no outro, este desequilíbrio produzirá uma força resultante da região de maior pressão para a região de menor pressão. [6], ou seja, podendo ser relacionado a um motor térmico, para obter sua eficiência é necessário realizar o cálculo da eficiência de Carnot.

As figuras a seguir representam as latitudes das duzentas cidades dos hemisférios e suas respectivas eficiências de Carnot, obtidas através das temperaturas médias máximas do inverno, sendo o eixo “x” as latitudes e o eixo “y” as eficiências.

As Tabelas 1 e 2 descrevem os resultados das pesquisas e cálculos, também sendo utilizadas para elaboração das figuras 3 e figura 4.

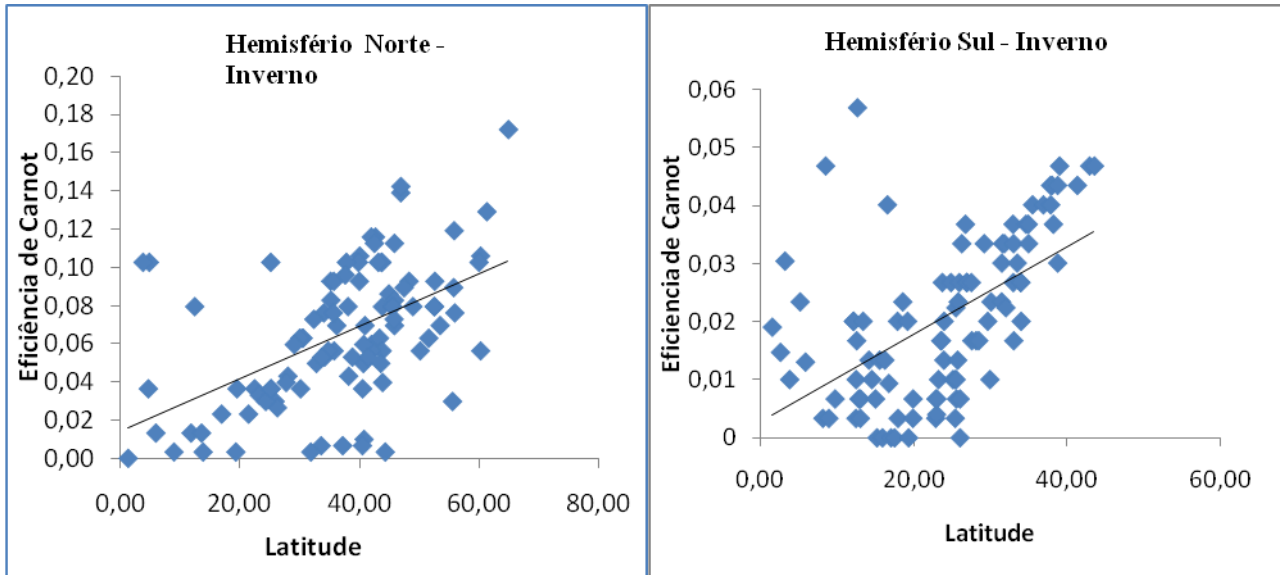


Figura 3: Eficiência de Carnot nos hemisférios Norte e Sul no Inverno.

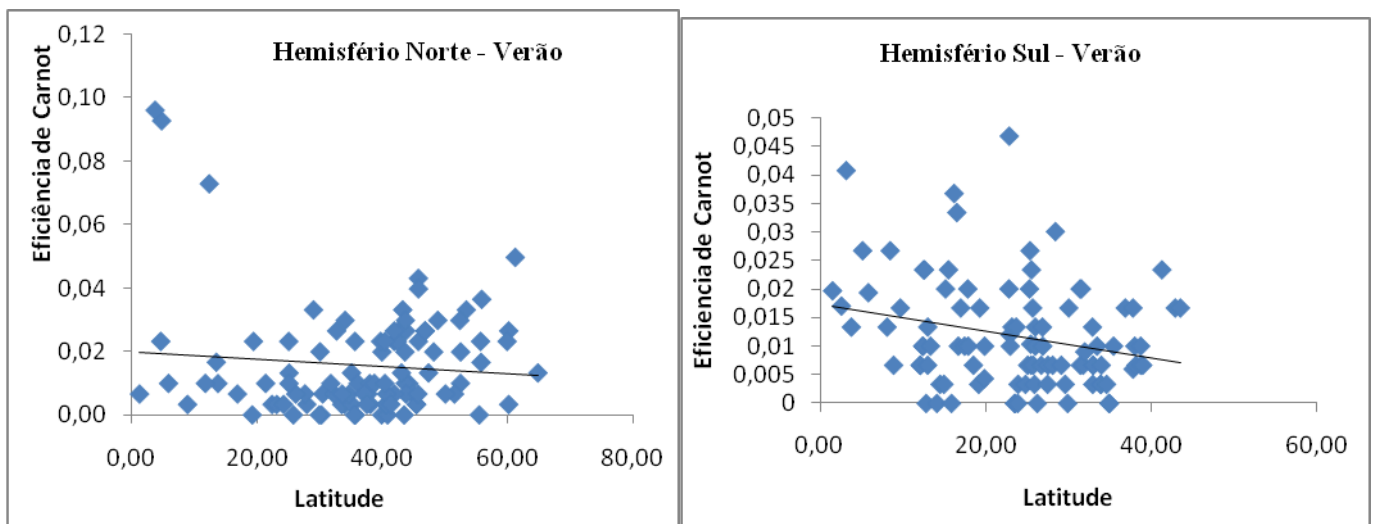


Figura 4: Eficiência de Carnot nos Hemisférios Norte e Sul no Verão.

Tabela 1 – Cem cidades do Hemisfério Sul e suas respectivas temperaturas máximas de verão e inverno, latitude, país e eficiências de Carnot, em porcentagem.

Cidade	País	Latitude nº decimais	TMáx Verão K	Efic. Verão	TMáx Inverno K	Efic. Inverno
Bloemfontein	África do Sul	29,12	301	0,0067	289	0,0334
Cidade do Cabo	África do Sul	33,92	298	0,0033	291	0,0268
Durban	África do Sul	29,88	299	0,0000	296	0,0100
East London	África do Sul	32,98	297	0,0067	294	0,0167

Joanesburgo	África do Sul	26,20	299	0,0000	289	0,0334
Klerksdorp	África do Sul	26,87	302	0,0100	291	0,0268
Louis Trichardt	África do Sul	23,15	303	0,0134	296	0,0100
Nelspruit	África do Sul	25,45	301	0,0067	296	0,0100
Pietermaritzburg	África do Sul	29,58	298	0,0033	293	0,0201
Polokwane	África do Sul	23,88	300	0,0033	293	0,0201
Porto Elizabeth	África do Sul	33,95	297	0,0067	293	0,0201
Pretória	África do Sul	25,72	301	0,0067	292	0,0234
Rustemburgo	África do Sul	25,65	304	0,0167	295	0,0134
Upington	África do Sul	28,40	308	0,0301	294	0,0167
Vanderbijlpark	África do Sul	26,68	297	0,0067	288	0,0368
Witbank	África do Sul	25,87	298	0,0033	291	0,0268
Benguela	Angola	12,57	292	0,0234	282	0,0569
Huambo	Angola	12,77	299	0,0000	297	0,0067
Kuito	Angola	12,38	296	0,0100	296	0,0100
Lobito	Angola	12,37	302	0,0100	298	0,0033
Luanda	Angola	8,83	301	0,0067	298	0,0033
Lubango	Angola	14,92	298	0,0033	297	0,0067
Lucapa	Angola	8,42	291	0,0268	285	0,0468
Bahía Blanca	Argentina	38,72	301	0,0067	286	0,0435
Buenos Aires	Argentina	34,58	300	0,0033	288	0,0368
Córdoba	Argentina	31,42	301	0,0067	290	0,0301
Mar del Plata	Argentina	38,00	296	0,0100	286	0,0435
Mendoza	Argentina	32,88	303	0,0134	288	0,0368
Neuquén	Argentina	38,97	301	0,0067	285	0,0468
Paraná	Argentina	31,75	301	0,0067	289	0,0334
Rosário	Argentina	32,95	301	0,0067	289	0,0334
Salta	Argentina	24,78	300	0,0033	291	0,0268
San Juan	Argentina	31,53	305	0,0201	289	0,0334
San Miguel de Tucumán	Argentina	26,83	303	0,0134	291	0,0268
San Salvador de Jujuy	Argentina	27,45	300	0,0033	291	0,0268
Santa Fé	Argentina	38,72	302	0,0100	290	0,0301
Adelaide	Austrália	34,92	299	0,0000	289	0,0334
Brisbane	Austrália	27,50	301	0,0067	294	0,0167
Cairns	Austrália	16,95	304	0,0167	299	0,0000
Darwin	Austrália	12,47	306	0,0234	304	0,0167
Geelong	Austrália	38,15	297	0,0067	288	0,0368
Gold Coast	Austrália	28,07	301	0,0067	294	0,0167
Hobart	Austrália	42,88	294	0,0167	285	0,0468
Melbourne	Austrália	37,80	297,2	0,0060	287	0,0401
Newcastle	Austrália	32,92	300	0,0033	291	0,0268
Perth	Austrália	31,95	301,7	0,0090	292,3	0,0224
Sidney	Austrália	33,87	298	0,0033	291	0,0268

Townsville	Austrália	19,25	304	0,0167	299	0,0000
Cochabamba	Bolívia	17,42	302	0,0100	299	0,0000
La Paz	Bolívia	16,48	289	0,0334	287	0,0401
Santa Cruz de la Sierra	Bolívia	17,80	305	0,0201	293	0,0201
Belém	Brasil	1,45	304,9	0,0197	304,7	0,0191
Belo Horizonte	Brasil	19,82	300,3	0,0043	298	0,0033
Brasília	Brasil	15,83	299	0,0000	299	0,0000
Campinas	Brasil	22,90	302,6	0,0120	297,8	0,0040
Curitiba	Brasil	25,42	302,1	0,0104	292,3	0,0224
Duque de Caxias	Brasil	22,78	305	0,0201	300	0,0033
Fortaleza	Brasil	3,72	303	0,0134	302	0,0100
Goiânia	Brasil	16,67	302	0,0100	301,8	0,0094
Guarulhos	Brasil	23,45	299	0,0000	294	0,0167
Maceió	Brasil	9,65	304	0,0167	301	0,0067
Manaus	Brasil	3,10	311,2	0,0408	308,1	0,0304
Natal	Brasil	5,78	304,8	0,0194	302,9	0,0130
Porto Alegre	Brasil	30,02	304	0,0167	292	0,0234
Recife	Brasil	8,05	303	0,0134	300	0,0033
Rio de Janeiro	Brasil	22,93	302	0,0100	297	0,0067
Salvador	Brasil	12,97	303	0,0134	301	0,0067
São Gonçalo	Brasil	22,82	313	0,0468	297	0,0067
São Luís	Brasil	2,52	304,1	0,0171	303,4	0,0147
São Paulo	Brasil	23,53	299	0,0000	294	0,0167
Teresina	Brasil	5,08	307	0,0268	306	0,0234
Antofagasta	Chile	23,65	295	0,0134	291	0,0268
Arica	Chile	18,48	297	0,0067	292	0,0234
Santiago	Chile	33,43	302	0,0100	290	0,0301
Talca	Chile	35,43	302	0,0100	287	0,0401
Beira	Moçambique	19,83	302	0,0100	297	0,0067
Chimoio	Moçambique	19,12	298	0,0033	293	0,0201
Gurué	Moçambique	15,47	292	0,0234	295	0,0134
Lichinga	Moçambique	13,30	296	0,0100	293	0,0201
Maputo	Moçambique	25,97	302	0,0100	297	0,0067
Matola	Moçambique	25,97	303	0,0134	299	0,0000
Maxixe	Moçambique	23,85	299	0,0000	295	0,0134
Nacala Porto	Moçambique	14,45	298	0,0033	296	0,0100
Nampula	Moçambique	15,12	305	0,0201	299	0,0000
Pemba	Moçambique	12,95	301	0,0067	300	0,0033
Quelimane	Moçambique	17,87	302	0,0100	298	0,0033
Tete	Moçambique	16,15	310	0,0368	303	0,0134
Xai-Xai	Moçambique	25,05	301	0,0067	296	0,0100
Auckland	Nova Zelândia	36,85	294	0,0167	287	0,0401
Christchurch	Nova Zelândia	43,52	294	0,0167	285	0,0468
Hamilton	Nova Zelândia	37,78	294	0,0167	286	0,0435

Wellington	Nova Zelândia	41,28	292	0,0234	286	0,0435
Assunção	Paraguai	25,27	305	0,0201	296	0,0100
Ciudad del Este	Paraguai	25,50	306	0,0234	297	0,0067
San Lorenzo	Paraguai	25,33	307	0,0268	298	0,0033
Callao	Peru	12,07	297	0,0067	293	0,0201
Ica	Peru	14,07	299	0,0000	295	0,0134
Lima	Peru	12,05	297	0,0067	293	0,0201
Montevideú	Uruguai	34,88	299	0,0000	288	0,0368
Salto	Uruguai	31,38	305	0,0201	292	0,0234

Tabela 2 – cem cidades do Hemisfério Norte e suas respectivas temperaturas máximas de verão e inverno, latitude, país e eficiências de Carnot, em porcentagem.

Cidades	Países	Latitude n° decimais	T.Max. Verão K	Efic. Verão	T. Max. Inverno K	Efic. Inverno
Albany	América do Norte	42,58	294	0,0265	267	0,1159
Albuquerque	América do Norte	35,08	298	0,0132	274	0,0927
Anchorage	América do Norte	61,22	287	0,0497	263	0,1291
Asheville	América do Norte	35,62	295	0,0232	274	0,0927
Austin	América do Norte	30,27	302	0,0000	283	0,0629
Baton Rouge	América do Norte	30,48	300	0,0066	283	0,0629
Billings	América do Norte	45,75	295	0,0232	268	0,1126
Birmingham	América do Norte	52,47	299	0,0099	278	0,0795
Boise	América do Norte	43,60	296	0,0199	271	0,1026
Bismark	América do Norte	46,80	294	0,0265	260	0,1391
Chicago	América do Norte	41,87	295	0,0232	267	0,1159
Columbia	América do Norte	33,95	301	0,0033	279	0,0762
Columbus	América do Norte	39,95	296	0,0199	270	0,1060
Kingston	América do Norte	44,22	305	0,0099	303	0,0033
San Juan	América do Norte	33,50	303	0,0033	300	0,0066
Denver	América do Norte	39,73	295	0,0232	271	0,1026
Honolulu	América do	21,35	299	0,0099	295	0,0232

	Norte					
Tampa	América do Norte	27,93	301	0,0033	289	0,0430
Vero Beach	América do Norte	27,65	300	0,0066	290	0,0397
Wichita	América do Norte	37,72	300	0,0066	271	0,1026
Toronto	América do Norte	43,65	299	0,0099	271	0,1026
Vancouver	América do Norte	43,73	294	0,0265	278	0,0795
San Diego	América do Norte	32,70	294	0,0265	287	0,0497
Memphis	América do Norte	35,13	301	0,0033	277	0,0828
Los Angeles	América do Norte	34,05	293	0,0298	286	0,0530
Fargo	América do Norte	46,83	294	0,0265	259	0,1424
Fairbanks	América do Norte	64,83	298	0,0132	250	0,1722
Houston	América do Norte	29,93	302	0,0000	283	0,0629
Miami	América do Norte	25,78	302	0,0000	293	0,0298
New Orleans	América do Norte	29,00	292	0,0331	284	0,0596
Las Vegas	América do Norte	36,10	305	0,0099	281	0,0695
Jackson	América do Norte	32,28	300	0,0066	280	0,0728
Dublin	América do Norte	53,40	292	0,0331	281	0,0695
Glasgow	América do Norte	55,85	291	0,0364	279	0,0762
Belgrade	América do Norte	44,82	300	0,0066	276	0,0861
Detroit	América do Norte	42,40	295	0,0232	268	0,1126
Saporo	Japão	43,05	298	0,0132	271	0,1026
Tokyo	Japão	35,67	302	0,0000	285	0,0563
Takayama	Japão	35,53	302	0,0000	279	0,0762
Osaka	Japão	34,68	304	0,0066	285	0,0563
Fukuoka	Japão	33,58	304	0,0066	286	0,0530
Naha	Japão	26,17	304	0,0066	294	0,0265
Pequim	China	39,88	302	0,0000	274	0,0927
Hong Kong	China	22,38	301	0,0033	291	0,0364
Taipei	China	25,10	306	0,0132	291	0,0364

Tainan	Taiwan	23,13	303	0,0033	292	0,0331
Taichung	Taiwan	24,22	303	0,0033	293	0,0298
Taipe	Taiwan	25,08	305	0,0099	291	0,0364
Paris	França	48,85	293	0,0298	278	0,0795
Ajaccio	França	41,90	294	0,0265	284	0,0596
Bourg-Saint-Maurice	França	45,74	289	0,0430	277	0,0828
Carcassonne	França	43,25	292	0,0331	283	0,0629
Lyon	França	45,75	290	0,0397	281	0,0695
Nice	França	43,68	293	0,0298	285	0,0563
Acapulco	México	16,85	304	0,0066	295	0,0232
Cidade do México	México	19,42	295	0,0232	291	0,0364
Amsterdã	Holanda	52,38	293	0,0298	278	0,0795
Atenas	Grecia	37,98	305	0,0099	278	0,0795
Bang Kok	Tailândia	13,75	305	0,0099	303	0,0033
Berlim	Alemanha	52,50	296	0,0199	274	0,0927
Nassau	Alemanha	25,05	295	0,0232	271	0,1026
Nápoles	Itália	40,82	302	0,0000	281	0,0695
Palermo	Itália	38,10	301	0,0033	289	0,0430
Milão	Itália	45,45	301	0,0033	278	0,0795
Florença	Itália	43,77	304	0,0066	290	0,0397
Roma	Itália	41,90	304	0,0066	285	0,0563
Arezzo	Itália	43,47	302	0,0000	287	0,0497
Alghero	Itália	40,55	301	0,0033	287	0,0497
Verona	Itália	45,43	301	0,0033	278	0,0795
Positano	Itália	40,62	301	0,0033	284	0,0596
Bombay	India	19,22	302	0,0000	301	0,0033
Calcuta	India	40,67	304	0,0066	299	0,0099
Bissau	India	11,73	299	0,0099	298	0,0132
Cairo	Egito	30,05	308	0,0199	291	0,0364
Copenhagem	Dinamarca	55,67	295	0,0232	275	0,0894
Hamilton	Reino Unido	55,47	302	0,0000	293	0,0298
Londres	Reino Unido	51,50	304	0,0066	283	0,0629
Helsinki	Finlândia	60,17	294	0,0265	270	0,1060
Istanbul	Turquia	60,17	303	0,0033	285	0,0563
Jerusalem	Israel	31,77	305	0,0099	303	0,0033
Lagos	Nigéria	37,10	304	0,0066	300	0,0066
Montreal	Nigéria	45,68	300	0,0066	280	0,0728
Niamey	Nigéria	13,48	307	0,0166	306	0,0132
Abuja	Nigéria	8,88	303	0,0033	303	0,0033
Lisboa	Portugal	38,72	299	0,0099	286	0,0530
Barcelona	Espanha	41,37	301	0,0033	286	0,0530
Madrid	Espanha	40,42	295	0,0232	291	0,0364

Moscow	Russia	55,75	297	0,0166	266	0,1192
Oslo	Noruega	59,90	295	0,0232	271	0,1026
Praga	Republica Theca	50,06	304	0,0066	285	0,0563
Seoul	Coreia do Sul	37,52	301	0,0033	273	0,0960
Viena	Austria	48,20	296	0,0199	274	0,0927
Zurich	Suiça	47,37	298	0,0132	275	0,0894
Juba	Sudão	4,75	274	0,0927	271	0,1026
Yaounde	Camarões	3,70	273	0,0960	271	0,1026
Uagadugu	África	12,35	280	0,0728	278	0,0795
Paramaribo	Suriname	5,85	299	0,0099	298	0,0132
Bogota	Colombia	4,60	295	0,0232	291	0,0364
Singapura	Malásia	1,22	304	0,0066	302	0,0000
Hanoi	Vietnam	40,40	305	0,0099	300	0,0066

Discussão

Partindo da premissa que o globo é uma grande máquina térmica, observando a figura 3, nota-se que na faixa do trópico de câncer na região do hemisfério norte e o trópico de capricórnio no hemisfério sul no inverno não há uma grande inclinação da linha exponencial, isso ocorre devido a quantidade de radiação solar que incide nesta região sendo o suficiente para aquecer o local sem haver uma grande necessidade de transferência de calor, porém a medida que aumenta-se a latitude no globo, a linha exponencial tende a ser mais inclinada, isso devido a uma maior transferência de calor que é realizada pelos ventos amenizando o aquecimento entre os trópicos e levando este calor para os pólos.

Com relação a figura 3, nota-se que a linha exponencial possui uma leve inclinação a uma menor eficiência partindo da linha do equador para os trópicos o que é inverso aos gráficos da figura 3, porém isso pode ter se dado por eventos climáticos ocorridos nesta época que venha a aquecer às altas latitudes, ou talvez derivados por ilhas de calor, levando a uma menor necessidade de transferência de calor, mas se levarmos em conta apenas os pontos notamos que esta reta estaria não inclinada, mas sim horizontalmente direcionada.

Conclusão

Como se pode notar nas Figuras 1 e 2, quanto maior a latitude maior a eficiência. Isso acontece devido à maior transferência de radiação solar que ocorre da linha do Equador para os pólos. Sendo assim, verão do hemisfério norte a Terra estando inclinada de forma que os raios solares incidam com maior concentração nas proximidades do trópico de câncer,

dando origem ao verão do hemisfério norte, o contrário ocorre em relação ao inverno desta mesma região onde os raios solares incidem com maior concentração nas proximidades do trópico de capricórnio, dando origem ao verão do hemisfério sul.

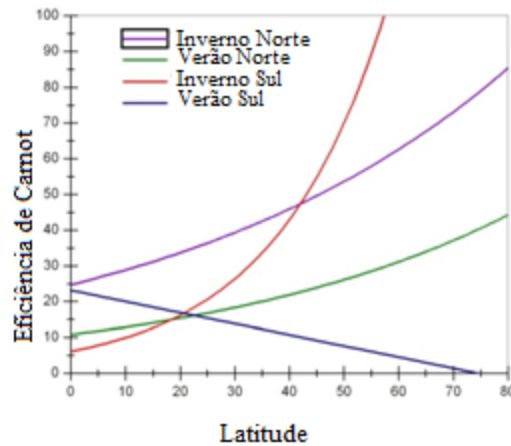


Figura 5: Comparação entre as curvas de eficiência dos hemisférios Norte e sul nas estações de verão e inverno.

Imaginando que a Terra seja uma grande máquina térmica, uma maior concentração de raios solares atinge a linha do equador até aos trópicos, assim nesta região a eficiência na transferência de calor será menor que em comparação às latitudes superiores aos trópicos, que iria necessitar de uma eficiência de transferência de calor maior para levar o calor recebido até os pólos. Nota-se que na Figura 3 a linha está inclinada para uma menor eficiência com o aumento da latitude, isso pode ter se dado por eventos climáticos ocorridos nesta época que venha a aquecer às altas latitudes, ou talvez derivados por ilhas de calor. Mas se levarmos em conta apenas os pontos, notamos que esta linha estaria não inclinada, mas sim horizontalmente direcionada.

Em relação às curvas, se pode observar que houve uma maior deflexão no inverno do hemisfério sul do que no hemisfério norte, na mesma estação, provavelmente devido a uma possível mudança climática ou ilhas de calor que ocorrem com maior intensidade nas regiões norte do que no sul, talvez pelo fato de localizarem-se nestas cidades as indústrias e pelo fato de estas estarem mais desenvolvidas, pois tendo essa fonte de calor, a transferência de calor diminui e com isso a eficiência de Carnot também. Por fim pode-se concluir que a Terra é uma enorme máquina térmica e que suas mudanças climáticas estão diretamente relacionadas à transferência de calor.

Referências Bibliográficas

- [1] FIGUEIREDO, A.M. **Termodinâmica Aplicada**. 2008.
- [2] MENDONÇA, F. DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**. Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- [3] FERREIRA, W.P.M. **Radiação Solar em Sete Lagoas, MG**. Embrapa, 2006.
- [4] P.M.C. de Oliveira; K. Dechoum. **Facilitando a compreensão da segunda lei da termodinâmica**. Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, 2003.
- [5] Levenspiel, Octave. **Termodinâmica Amistosa para Engenheiros**; Editora Edgard Blücher LTDA.
- [6] UFPR, Física: **Força de gradiente de pressão**. Disponível em:
< <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-2.html> >. Acesso em 08/05/2013
- [7] GeoMundo: **O Efeito Coriolis no planeta Terra**. Disponível em:
<<http://www.geomundo.com.br/meio-ambiente-40137.htm>>. Acesso em 03/05/2013.