

ANÁLISE DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS QUE INFLUENCIAM NA RADIAÇÃO SOLAR NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GAMELEIRA – PE.

*Ana Lúcia Chaves Silva, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
José Roberto Gonçalves de Azevedo, Universidade Federal de Pernambuco*

RESUMO - Existem algumas variáveis meteorológicas que são fundamentais na determinação da evaporação, dentre estas a radiação solar, isto se justifica porque a evaporação depende da energia disponível proveniente da radiação solar. Este trabalho propõe analisar as variáveis hidrológicas que influenciam no comportamento da radiação, na bacia experimental do riacho Gameleira, em Pernambuco, entre o período de 2004 a 2008. A pesquisa foi desenvolvida a partir dos dados horários dos sensores de umidade, radiação, temperatura, precipitação e velocidade do vento da estação automática de Gameleira. Utilizamos um estudo estatístico de regressão múltipla e observamos que o horário das 15 horas apresentou uma melhor correlação entre estas variáveis, sendo a temperatura e a umidade as que mais influenciaram na radiação.

ABSTRACT - There are some meteorological variables that are critical in determining the evaporation, among them the solar radiation, this is because the evaporation depends on the energy available from solar radiation. This paper aims to analyze the hydrologic variables that influence the behavior of radiation in the experimental watershed of the creek Gameleira in Pernambuco, between the period 2004 to 2008. The survey was developed from hourly data of humidity, radiation, temperature, precipitation and wind speed sensors installed on the automatic Gameleira station. We used a statistical study of multiple regression and noted that the schedule of 15 hours showed a better correlation between these variables, and temperature and humidity that most influenced the radiation.

Palavras-Chave – Radiação, Variáveis hidrológicas, Temperatura, Umidade do ar, Velocidade do vento

1- INTRODUÇÃO

Segundo Naghettini e Pinto, 2007, a humanidade, desde seus primórdios, sempre se interessou em observar o comportamento das variáveis hidrológicas. Os fenômenos hidrológicos definem os mecanismos de armazenamento e transporte entre as diversas fases do ciclo da água, as intensidades com que esses fenômenos se manifestam apresentam uma marcante variabilidade ao longo do tempo e do espaço, em decorrência das variações, algumas regulares e muitas irregulares, dos climas global e regional, bem como das particularidades regionais e locais, sob os aspectos meteorológicos, geomorfológicos, de propriedades e uso do solo, entre tantos outros.

O ciclo hidrológico pode ser dividido em duas partes: o ramo aéreo, normalmente estudado pela Meteorologia e o terrestre, objeto de estudo da Hidrologia. O retorno da água precipitada para a atmosfera, fechando o ciclo hidrológico, ocorre através do processo da evapotranspiração. Algumas variáveis meteorológicas são fatores determinantes da evapotranspiração. As temperaturas do ar e da água estão grandemente associadas à radiação solar (Tucci, 2007). O efeito do vento na evaporação é exercido pela remoção e renovação do ar logo acima da superfície evaporante, ele interfere no transporte advectivo de energia e na renovação das massas de ar das proximidades da superfície evaporante, substituindo as massas de ar com elevado grau de umidade por massas de ar de menor umidade (Villela & Mattos, 1975; Pereira *et al.*, 1997).

Em igualdade de outras condições a evaporação é proporcional à diferença entre pressão do vapor saturado, à temperatura da água e à pressão do vapor do ar. A quantidade de vapor de água que o ar pode conter varia com a temperatura. O ar mais quente pode conter mais vapor, portanto favorece a evaporação. A umidade relativa influencia na demanda evaporativa da atmosfera, sendo que, quanto maior a umidade relativa, menor a demanda evaporativa e, portanto, menor a evapotranspiração (Pereira *et al.*, 1997).

Andrade *et al.* (2003) analisaram os principais componentes da evapotranspiração e verificaram que o peso de cada variável na quantificação da evapotranspiração varia em função do clima da região de estudo. Os resultados encontrados para região de clima tropical chuvoso mostraram que a velocidade do vento e a umidade relativa são as variáveis com maior significância, enquanto que, para região de clima semi-árido, as variáveis foram a razão de insolação, precipitação e umidade relativa.

Segundo Tucci, 2007, os principais mecanismos de transporte de energia, quantidade de movimento e massa na atmosfera são os de radiação, condução e convecção. A importância da radiação é evidente, dado que é o mecanismo mediante o qual a energia solar ingressa na atmosfera, ela é proporcional à temperatura absoluta do corpo radiante. Denomina-se por radiação, ou energia radiante, à energia que se propaga sem necessidade de presença de um meio material (Silva, 2005).

Objetivou-se, por este trabalho, analisar a interação entre as variáveis hidrológicas que interferem na determinação da Evapotranspiração na bacia experimental do riacho Gameleira, em Pernambuco, para o período de 2004 à 2008.

2- MATERIAL E MÉTODOS

2.1- Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida a partir dos dados do sensor de temperatura e umidade relativa do ar, modelo HMP45C, da estação automática de Gameleira localizada na bacia experimental do riacho Gameleira, sub-bacia do rio Tapacurá, que por sua vez é o principal afluente da margem direita do rio Capibaribe. A estação meteorológica completa da Campbell foi instalada em junho/2003 na Escola Agrotécnica Federal da cidade de Vitória de Santo Antão, Pernambuco, distante aproximadamente 50 km do Recife. Geograficamente encontra-se na parte Nordeste da Mesorregião do Agreste do Estado de Pernambuco, área de transição entre a zona da mata e o semi-árido, nas coordenadas UTM são 247.718 E e 9.104.314 N no meridiano 25 (Lat: 8° 5' 48"; Long: 35° 17' 23"). O clima dominante da área é o As', clima quente e úmido do tipo pseudo tropical, de acordo com classificação de Köppen, segundo Oliveira, 2007.

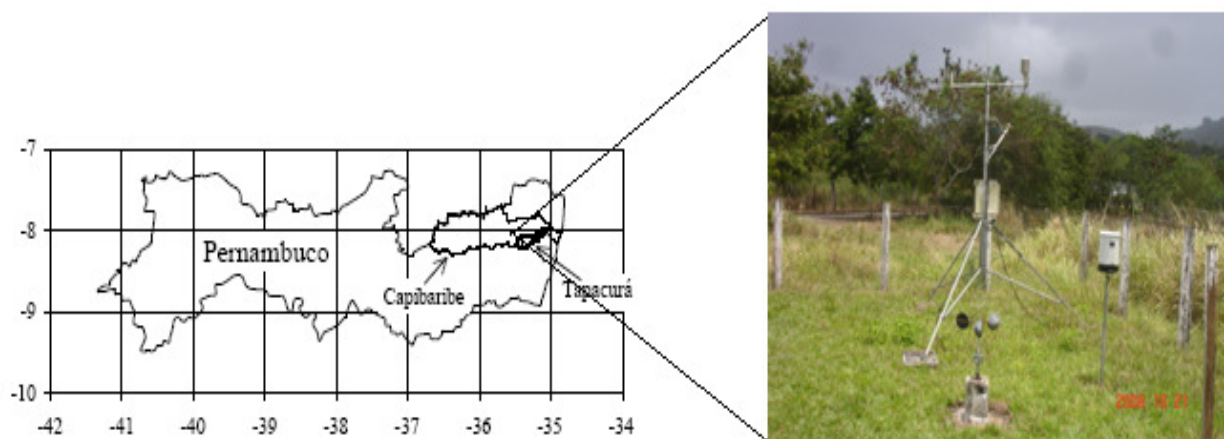


Figura 01: Localização da estação automática de Gameleira

2.2- Aplicação do método

Para a realização do trabalho foi necessário analisar os dados brutos das variáveis em estudo. O fato de analisar os dados disponíveis das observações, de detectar os erros mais prováveis e de corrigir as observações é conhecido em hidrologia como análise de consistência.

Após a representação dos dados horários foi possível correlacionar a radiação com cada variável (temperatura, umidade, velocidade do vento e precipitação), a partir da correlação linear simples. Muitas vezes, a simples visualização do diagrama de dispersão sugere a existência de uma relação funcional entre as duas variáveis. A análise de regressão é uma técnica estatística cujo escopo é investigar e modelar a relação entre variáveis, considerando que exista um relacionamento funcional entre os valores Y e X , responsável pelo aspecto do diagrama, essa função deverá explicar parcela significativa da variação de Y com X . (Naghettini e Pinto, 2007).

Admitindo ser uma reta a linha teórica de regressão, a função entre X e Y é a seguinte:

$$Y = \alpha + \beta X + e$$

onde, Y é a variável dependente, X é a variável independente, α e β são os coeficientes do modelo e e denota os erros ou resíduos da regressão.

O coeficiente de determinação é dado pela relação entre a soma dos quadrados devidos à regressão (SQ_{Reg}) e a soma total dos quadrados (SQT), ou seja:

$$R^2 = \frac{\text{Variância Explicada}}{\text{Variância Total}} = \frac{SQ_{Reg}}{SQT} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

onde R^2 é o coeficiente de determinação ($0 \leq R^2 \leq 1$), y_i é o valor observado da variável dependente, $\hat{y}_i$ é o valor estimado da variável dependente e $\bar{y}$ é a média da variável dependente.

Para correlacionar a radiação com todos as demais variáveis estudadas realizamos também a regressão linear múltipla, que segundo Naghettini e Pinto (2007), estuda o comportamento de uma variável dependente Y em função de duas ou mais variáveis independentes X_i . Se a variável Y variar linearmente com as variáveis X_i , pode-se adotar um modelo geral com a seguinte forma:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$

onde Y é a variável dependente ou prevista; $X_1, X_2, \dots, X_p$ são as variáveis independentes ou explicativas e $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ são os coeficientes de regressão.

O coeficiente de determinação múltipla R^2 é definido pela seguinte relação:

$$R^2 = \frac{SQ\ Reg}{SQT} = \frac{[\hat{\beta}]^T [X]^T [Y] - n\bar{Y}^2}{[Y]^T [Y] - n\bar{Y}^2}$$

O coeficiente de determinação múltipla varia entre 0 a 1 e expressa a proporção da variância que é explicada pelo modelo de regressão. O coeficiente de correlação múltipla é calculado pela extração da raiz quadrada da equação acima.

Existem alguns procedimentos que facilitam a elaboração dos modelos de regressão múltipla, do ponto de vista da seleção de variáveis explicativas. Dentre os vários métodos podem ser destacado o de todas as equações possíveis e o da regressão passo a passo. Optamos pelo modo passo a passo, que consiste na incorporação ao modelo de uma variável, a cada vez, com o objetivo de explicar a maior parte da variância que ainda não foi explicada pelo modelo. Esse método inicia-se com a variável independente que apresenta o maior coeficiente de correlação simples com a variável dependente. Em seguida, é acrescentada uma variável independente à equação, a cada passo, com a avaliação da significância do modelo elaborado e de suas variáveis explicativas, por meio do teste do F parcial. Se a contribuição de uma das variáveis explicativas não for considerada significativa, ela é retirada do modelo (Naghettini e Pinto, 2007).

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realização do trabalho foi necessário analisar os dados brutos de temperatura, umidade do ar, radiação, velocidade do vento e precipitação, e apresentar-los na forma de dados médios horários distribuídos ao longo dos meses do período de observação como mostra a Tabela 01.

Tabela 01: Modelo de distribuição dos dados

		2003	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
Variáveis	Horas/Mês	12	1	2	3	4	5	6	7
Radiação	1	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
Temperatura	1	22,4	22,9	22,5	22,3	22,1	21,7	21,1	20,6
Umidade	1	88,9	90,6	92,9	92,4	93,4	92,8	92	90,6
Vento	1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4
Chuva	1	0	0,5	0,4	0,2	0,5	0,1	0,2	0,1
Radiação	2	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
Temperatura	2	22,2	22,8	22,4	22	22	21,7	20,9	20,5
Umidade	2	89,9	91	93,4	93,1	93,7	93	92,3	91,1
Vento	2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4
Chuva	2	0	0,4	0,8	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2
Radiação	3	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
Temperatura	3	22	22,6	22,3	21,9	21,9	21,6	20,9	20,3
Umidade	3	90,8	91,7	93,6	93,6	93,9	93	92,5	91,3
Vento	3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
Chuva	3	0	0,1	0,2	0,3	0	0,2	1,2	0,2

Após a representação dos dados horários foi possível correlacionar a radiação com cada variável (temperatura, umidade, velocidade do vento e precipitação), a partir da correlação linear simples,

geramos gráficos de dispersão, onde podemos visualizar claramente a relação destas variáveis com a radiação, como mostra a Figura 02. Os resultados para o intervalo de 8 às 15 horas apresentaram correlações entre a radiação e a umidade acima de 60%, o mesmo aconteceu com a correlação radiação e temperatura e radiação e velocidade dos ventos. Sendo o horário das 10 e 15 horas os que apresentaram melhor correlação entre a radiação e a umidade, chegando a ser superior a 80% (Figura 03). Com isso, sabemos que no modelo de regressão a ser adotado terá obrigatoriamente a variável umidade.

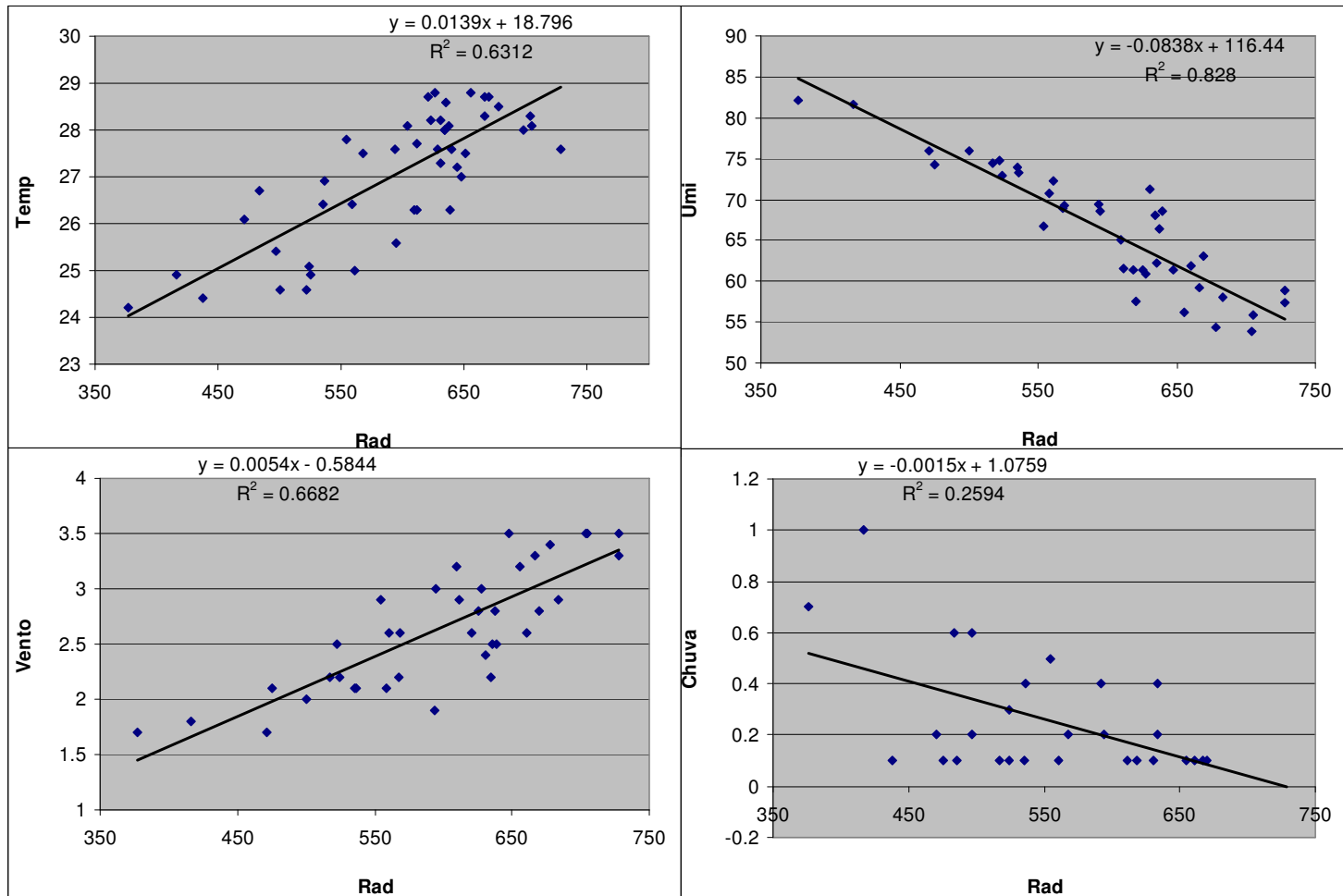


FIGURA 02: Dados obtidos a partir da geração de gráfico de dispersão dos dados médios horários das 10 horas.

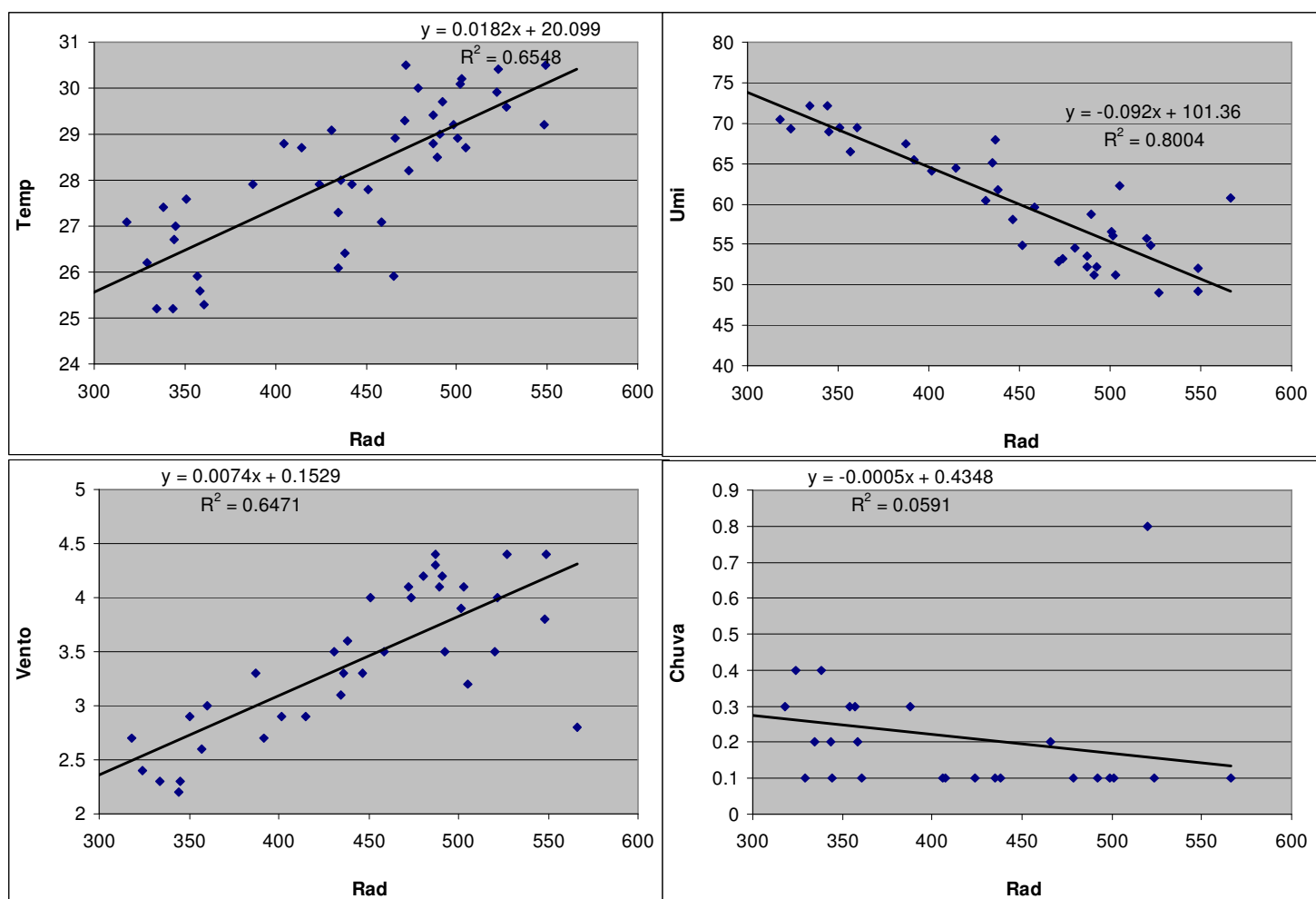


FIGURA 03: Dados obtidos a partir da geração de gráfico de dispersão dos dados médios horários das 15 horas.

Segundo Naghettini e Pinto, 2007, um modo expedito de evitar a colinearidade é a eliminação de uma, entre cada conjunto de duas variáveis explicativas que apresentarem coeficientes de correlação superiores a 0,85. Desse modo, espera-se que as variáveis mantidas no modelo de regressão contribuam significativamente para explicar a variabilidade de Y. Como dos resultados obtidos na regressão linear apenas a umidade apresentou valores de correlação acima de 80%, não precisamos eliminar nenhuma variável.

Com os resultados das regressões linear simples podemos identificar quais variáveis estão melhor relacionadas com a radiação, partimos então, para a análise de regressão múltipla para tanto correlacionamos a variável radiação com as variáveis: temperatura, umidade relativa, velocidade do vento. E obtivemos resultados de correlação de regressão múltipla acima de 70% em todos os horários que possuem presença de radiação, entre 6 e 18 horas. Sendo o horário das 15 horas o que apresentou melhor correlação múltipla cujo valor foi de 0,92, como mostra a Tabela 02.

Tabela 02: Valores obtidos pela regressão múltipla das 15 horas

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,92
R-Quadrado	0,85
R-quadrado ajustado	0,84
Erro padrão	29,43
Observações	47

Sendo R múltiplo o coeficiente de correlação, R-quadrado o coeficiente de determinação da regressão e R-quadrado ajustado o coeficiente de determinação ajustado.

Segundo Lapponi, 2000, se o valor de F de significação é menor que o valor do nível de significância escolhido, devemos rejeitar a hipótese nula e aceitar a regressão. Para verificarmos o grau de significação da regressão comparamos significância encontrada de 1.48198E-17 e o nível de significância adotado de 0,05, como o valor de F de significação é menor que o valor do nível de significância escolhido, devemos aceitar a regressão.

A partir dos dados das 15 horas utilizamos o modo de elaboração de regressão passo a passo, com o objetivo de explicar melhor o modelo. Para tanto, iniciamos com a variável umidade, que apresentou melhor correlação linear simples com a radiação, e acrescentamos a variável temperatura, o resultado obtido foi um coeficiente de correlação múltiplo de 0,91 como mostra a Tabela 03.

Tabela 03: Valores obtidos pela regressão múltipla das 15 horas

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,91
R-Quadrado	0,84
R-quadrado ajustado	0,83
Erro padrão	30,07
Observações	47

Para verificarmos o grau de significação dessa nova regressão comparamos significância encontrada de 5.01E-18 e o nível de significância adotado de 0,05, como o valor de F de significação é menor que o valor do nível de significância escolhido, devemos aceitar a regressão.

Dando continuidade a análise, correlacionamos a radiação, com a umidade e a velocidade do vento, onde obtemos um coeficiente de correlação múltiplo de 0,90.

Em seguida correlacionamos a radiação com a umidade, a temperatura, a velocidade do vento e a precipitação e obtivemos uma correlação múltipla de 0,94.

Realizamos a combinação entre os valores observados e os valores calculados e obtivemos o resultado apresentado na Figura 04.

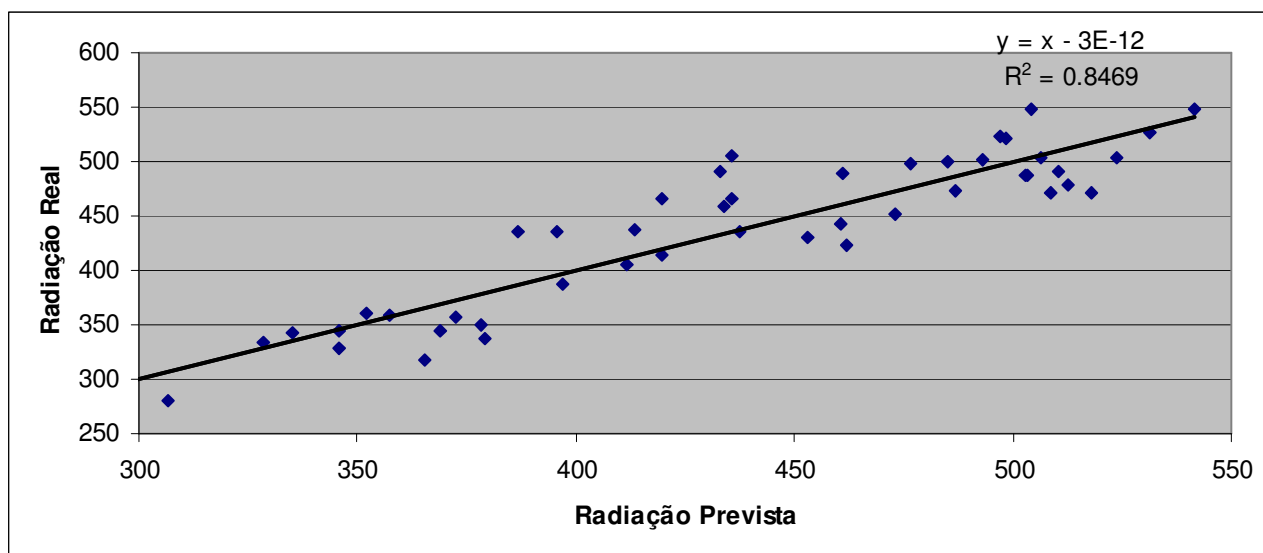


FIGURA 04: Correlação entre os valores observados e os valores calculados para correlação entre radiação, temperatura, umidade e velocidade do vento, para as 15 horas.

4- CONCLUSÕES

Os resultados comprovam que, após a análise de correlação linear simples, a umidade é a variável que mais se correlaciona com a radiação e que os horários que apresentaram melhor desempenho foram as 10 e 15 horas. Ao nos reportarmos a relação entre a radiação e as demais variáveis: temperatura, velocidade do vento, umidade e precipitação a partir das elaborações de regressões múltiplas pelo modo passo a passo, percebemos que apresentou um melhor resultado às 15 horas com um $R^2 = 0,94$, e retirando a precipitação da relação obtivemos um $R^2 = 0,92$, considerando apenas a temperatura e a umidade se relacionando com a radiação obtivemos um $R^2 = 0,91$, o que nos leva a concluir que a temperatura e a umidade são as variáveis que mais se correlacionam com a radiação.

5- REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E.M; SILVEIRA, S.S. & AZEVEDO, B.M. Investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração na região centro-sul do Ceará pela análise de componentes principais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 1, p. 39-44, 2003.
- LAPPONI, J. C. Estatística usando o Excel. São Paulo: Lapponi treinamento e Editora, 2000.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
- OLIVEIRA, L.M.M. Avaliação da evapotranspiração de referência (ET_o) na bacia experimental do riacho Gameleira – PE, utilizando lisímetro de pesagem hidráulica e métodos indiretos. Recife: Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de Mestrado. 2007.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997.
- TUCCI, M.E. C.. Hidrologia: ciência e aplicação. ABRH: 2007.
- SILVA, M.A.V. Meteorologia e climatologia. Recife: 2005
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.