

TESTES ESTATÍSTICOS E QUESTÕES AMBIENTAIS NO ENSINO DE ENGENHARIA: UMA APLICAÇÃO EM CLIMATOLOGIA

Júlio César Penereiro,¹ Denise Helena Lombardo Ferreira²

RESUMO

Este trabalho apresenta uma pesquisa desenvolvida a partir de atividades que ocorreram em uma disciplina optativa, envolvendo estudantes de diversos cursos de engenharia. A abordagem utilizada foi o tratamento de dados reais da área ambiental, empregando conteúdos estatísticos e recursos da informática, visando à identificação de possíveis tendências nos índices de temperaturas médias do ar e de precipitações pluviométricas de alguns municípios do estado de São Paulo. Empregou-se a estatística paramétrica, com aplicação da análise de regressão, além da estatística não paramétrica, por meio dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt. Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, surgiram várias questões, gerando discussões e reflexões a respeito dos conteúdos utilizados, implicando interpretações relacionadas aos métodos estatísticos usados para avaliar problemas climáticos e ambientais. Como resultado principal, identificou-se um ganho de conhecimento com relação aos conteúdos estatísticos desenvolvidos pela disciplina, indicando que os estudantes envolvidos ficaram mais motivados ao usarem a estatística numa situação da atualidade, especialmente no que diz respeito aos impactos causados pelas mudanças climáticas em alguns índices de parâmetros climatológicos.

Palavras-chave: Ensino na engenharia; questões ambientais; metodologia de ensino; testes estatísticos.

STATISTICAL TESTS AND ENVIRONMENTAL ISSUES IN ENGINEERING EDUCATION: AN APPLICATION IN CLIMATOLOGY

ABSTRACT

This work presents a research developed with activities that occurred in an elective discipline involving students of several courses of engineering. The approach used was the treatment of actual data of the environmental area, adopting statistical content and computer resources in order to identify possible trends in the air temperature averages and rainfall rates in some cities of the São Paulo state, Brazil. The parametric statistics with application of the regression analysis was used, as well as the statistic distribution by the tests of Mann-Kendall and Pettitt. During the development of the research, many questions emerged, promoting discussions and reflections considering the contents used, resulting in interpretations related to statistical methods used to evaluate climate and environmental problems. As the main result, we identified a considerable gain in knowledge considering statistical content developed by the discipline, indicating that the students involved were more motivated to use the Statistic in a present situation, especially regarding impacts caused by climate change in some climatological parameter indexes.

Keywords: Teaching in engineering; environmental questions; teaching methodology; statistical tests.

¹ Doutor em Ciências – Astronomia, Professor Titular do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da PUC-Campinas; jcp@puc-campinas.edu.br

² Doutora em Educação Matemática, Professora Titular do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da PUC-Campinas; lombardo@puc-campinas.edu.br.

INTRODUÇÃO

Em muitos casos, as evasões em cursos de diferentes áreas têm como origem as dificuldades encontradas pelos estudantes em lidar com as disciplinas das áreas da matemática, como o Cálculo, a Álgebra e a Trigonometria, a Geometria, entre outras. É provável que essas dificuldades já venham de tensões sofridas por eles no Ensino Fundamental e Médio. Nesse contexto, é possível verificar que, na maioria das vezes, esse mesmo sentimento perpassa o ensino e aprendizagem de conteúdos estatísticos e, em alguns casos, os estudantes não conseguem relacionar os conceitos com situações do seu dia-a-dia. Invariavelmente, essas disciplinas são consideradas pelos estudantes, mesmo por aqueles que frequentam cursos da área das ciências exatas, como sendo as mais difíceis de suas grades curriculares e, como consequência dessa dificuldade, são elas as que geram maiores índices de reprovação e desestímulo quanto ao curso (SOUZA; PETRÓ; GESSINGER, 2012).

No entanto, algumas alternativas podem ser viáveis na docência como uma tentativa de minimizar tais transtornos. Algumas atividades diferenciadas, como, por exemplo, fazer uso da tecnologia de informática, pode ajudar a minimizar esse sentimento negativo e contribuir para despertar o interesse e a importância dessa aprendizagem. A tecnologia de informática também pode auxiliar na investigação, experimentação, elaboração de ideias e validação dos resultados encontrados. As tarefas envolvendo essas tecnologias podem contribuir para que um estudante construa seus conhecimentos de acordo com o seu ritmo (RICHIT; MALTEMPI, 2010).

A aplicação de conteúdos matemáticos e/ou estatísticos para resolver problemas reais possibilita despertar o interesse e a curiosidade do estudante, envolvendo-o no levantamento de grandes quantidades de dados e em eventuais simplificações necessárias para o tratamento desses problemas. Infelizmente, essas situações são pouco desenvolvidas no ambiente acadêmico, principalmente em questões e problemas formulados *a priori*, ou em situações,

muitas vezes, desconexas da realidade. Atividades desenvolvidas em sala de aula, que abordem temas relacionados ao mundo contemporâneo, como as questões ambientais, podem auxiliar na formação de uma pessoa mais crítica, investigadora, questionadora e consciente dos problemas da sociedade, tal como assinalado por Skovsmose (2008).

Incorporar a tecnologia da informática nas aulas não parece ser uma dificuldade na atualidade, tendo em vista que essa ferramenta está cada vez mais disseminada no meio estudantil. No entanto, envolver atividades em sala de aula com a realidade dos estudantes nem sempre é uma tarefa fácil para o docente, pois, como apontam Ferreira e Brumatti (2009), atividades dessa natureza demandam tempo e requerem competência e habilidade com métodos não somente da matemática, mas também da informática e de outras áreas.

Os problemas reais vinculados com o meio ambiente, considerados no presente trabalho, estão relacionados com os parâmetros climáticos. Optou-se por esse tema por se tratar de um assunto atual, visto que, invariavelmente, as mídias em geral exploram as questões ambientais, além de ser um tema de relevância também no meio científico-acadêmico.

Considerando que a matemática e a estatística podem ser usadas para descrever, interpretar dados e solucionar diversos problemas, além de poder apontar para a tomada de decisões mais acertadas a determinadas questões, o trabalho aqui apresentado tem como objetivo mostrar que é possível envolver estudantes de curso superior no ensino e na aprendizagem de conteúdos estatísticos extracurriculares. Nesse contexto, foi desenvolvida uma pesquisa pautada numa disciplina optativa denominada “Estatística aplicada às questões ambientais”, ministrada no segundo semestre de 2011, para estudantes dos períodos matutino e noturno, provenientes de diferentes cursos de engenharias oferecidos por uma Instituição do Ensino Superior (IES) privada. O foco principal da disciplina foi empregar mecanismos matemáticos e estatísticos, além das ferramentas disponíveis na informática, para identificar tendên-

cias anuais nos índices de temperatura média e precipitação pluviométrica de algumas cidades do estado de São Paulo. Essa iniciativa, proposta pelos estudantes, surgiu devido a algumas lacunas encontradas sobre esse tema no currículo dos cursos de engenharia e também pela experiência dos professores nas orientações executadas com alunos bolsistas sobre o assunto.

O artigo está estruturado da seguinte maneira: na segunda seção, é apresentada a metodologia utilizada na disciplina ministrada; na terceira seção, é apresentado um questionário aplicado aos estudantes que cursaram a disciplina e discutem-se as respostas obtidas, com a finalidade de se delinear um panorama da classe e diagnosticar os conhecimentos de estatística e de informática de cada estudante. Na quarta seção, dividida em duas partes, são mostrados os resultados atingidos, destacando-se uma apresentação resumida dos principais assuntos da estatística discutidos em aulas pelos professores. Em seguida, apresentam-se os resultados alcançados pelos estudantes, na forma de trabalhos em grupos, com o desenvolvimento de projetos sugeridos pelos docentes, visando ao envolvimento e à motivação na redução de dados relacionados à climatologia. Na quinta seção, são relatadas as principais discussões reflexivas ao longo do desenvolvimento da disciplina, apresentadas na forma de questionamentos feitos pelos professores no sentido de instigar e envolver os estudantes em discussões sobre os recursos de informática utilizados, os testes estatísticos empregados e as implicações dos resultados numéricos encontrados por cada grupo de trabalho. Na última seção, expõem-se algumas considerações finais da disciplina desenvolvida.

JUSTIFICATIVAS E METODOLOGIAS EMPREGADAS

Como comentado anteriormente, o presente trabalho foi realizado por ocasião do oferecimento de uma disciplina optativa oferecida no segundo semestre de 2011. Tal disciplina foi ministrada ao longo de três meses e meio, com encontros realizados duas vezes por

semana, no horário entre 17h40 e 19h20. A opção por esse horário teve a intenção de envolver o maior número possível de estudantes interessados, notoriamente matriculados no período matutino e noturno de diferentes cursos de engenharias oferecidos pela IES. Essa decisão possibilitou a participação de onze alunos do período matutino e quatorze do noturno, provenientes dos cursos de engenharias de Computação, Civil, Ambiental e Elétrica, ingressados em diferentes anos.

As atividades propostas e relatadas abaixo contaram com o empenho de dois professores e a colaboração de dois bolsistas de Iniciação Científica. O requisito básico para cursar a disciplina era a aprovação na disciplina “Estatística”, normalmente oferecida no 2º ano de um curso de engenharia, com carga horária de 2 horas/aula semanais. Aos interessados em matricular-se na disciplina foi esclarecido previamente que seriam incentivados a estudar e aplicar conteúdos matemáticos e estatísticos, além das facilidades gráficas da informática, para verificar, entre outras questões, a possibilidade de identificar a presença de tendência em alguns parâmetros climáticos. A ideia era envolvê-los com medições realizadas em alguns municípios paulistas, em particular, com dados levantados por algum órgão responsável pelo monitoramento climático do estado de São Paulo.

Para serem aprovados na disciplina, era necessário atingir nota mínima, na média final, equivalente a 5,0 (cinco), além de frequência mínima (75%) nas aulas. Para a composição da média final, levou-se em consideração as notas das provas individuais, além da avaliação pautada na apresentação de um projeto em forma de trabalho realizado em grupo e um seminário a respeito deste.

Já no primeiro encontro da disciplina foi solicitado aos estudantes que respondessem um questionário, para que os professores pudessem extrair um diagnóstico prévio dos conhecimentos e inquietações relativos aos métodos estatísticos, além dos conhecimentos em informática adquiridos ao longo de sua formação acadêmica. Em seguida, foram desenvol-

vidas as primeiras aulas, com conteúdos teóricos, nas quais se realizou, em forma de tópicos, um retrospecto dos conceitos fundamentais da estatística, como média, moda, variância, desvios, curtose, análise de regressão, entre outros. As outras aulas envolveram assuntos da estatística não paramétrica, como os diferentes testes de hipótese mostrados na obra de John Freund, *Estatística aplicada: economia, administração e contabilidade* (FREUND, 2006). Essa obra foi escolhida porque discute vários métodos estatísticos, além de ser um livro disponível aos interessados na biblioteca da IES.

A partir do quinto encontro, foi anunciado que seria realizado um projeto aplicável a todos os participantes, concomitante com as aulas que ainda seriam desenvolvidas. Nesse sentido, os estudantes foram convidados a formar grupos de trabalho compostos de quatro a seis pessoas. Os projetos visavam ao envolvimento dos estudantes com a estatística paramétrica e não paramétrica. Para tanto, todos seriam direcionados à redução de dados usando programas de computadores e a leitura e análise de artigos científicos específicos, relacionados a essa técnica de redução de dados.

Cada grupo ficou responsável pelas reduções e análises de séries históricas, contendo dados de temperaturas e precipitações pluviométricas para um determinado município paulista, sendo escolhidos: Campinas, Pindamonhangaba, Ribeirão Preto, Limeira e Pariqueira-Açu. As séries históricas consistiam nas medições mensais e anuais realizadas pelas estações meteorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC (CIIAGRO, 2011). A escolha dos locais buscou envolver cidades de pequeno e médio porte populacional, com atividades industriais, agrícola, pecuária, reserva de matas e que fossem cortadas por rios importantes do território paulista.

A possibilidade de separar os estudantes em grupos ocasionou o desenvolvimento de cinco projetos diferentes, envolvendo as coletas de dados, aplicações dos testes paramétricos, além dos testes não paramétricos de Mann-Kendall e Pettitt, visando à identificação

da ocorrência de possíveis tendências climáticas às séries históricas.

Justifica-se o uso desses testes não paramétricos por serem métodos apropriados para analisar mudanças climáticas, permitindo detectar e localizar, de forma aproximada, o ponto inicial de determinada tendência (MORAES *et. al.*, 1995). Em decorrência disso, esses testes vêm sendo usados por outros pesquisadores, em estudos relacionados ao comportamento do clima local ou regional (BACK, 2001; MORTATTI *et. al.*, 2004).

Por ser o programa mais disseminado, de fácil acesso, por estar incorporado ao *Office* e instalado na maioria dos microcomputadores dos estudantes, sugeriu-se que os projetos fossem desenvolvidos por meio do uso de planilhas do programa *Microsoft Excel*.

DIAGNÓSTICO INICIAL

No início das atividades, todos os estudantes foram convidados a responder um questionário (reproduzido no Apêndice 1) contendo oito perguntas, na tentativa de diagnosticar seus conhecimentos de estatística e de informática. A Tabela 1 resume quantitativamente as respostas coletadas dos estudantes, destacando aqueles dos cursos do período matutino e do noturno (em parênteses).

Uma análise dessa tabela indica que é possível afirmar que os estudantes dos períodos matutino e noturno tinham conhecimento dos programas *Microsoft Excel* e *EstatD+*, especialmente o *Excel*, quando aplicados a alguns procedimentos em cálculos estatísticos. Isso aparece de forma mais contundente nos estudantes do período noturno, possivelmente devido às experiências adquiridas em atividades profissionais.

Vale ressaltar que, devido ao caráter da disciplina ministrada, os estudantes eram de diferentes faixas etárias, estando entre 19 e 27 anos de idade, o que possivelmente implicou algumas respostas tendenciosas, como a quarta questão, que se refere ao conteúdo estatístico que ele mais usou em aplicações extracurriculares.

Tabela 1 – Distribuição das respostas dos estudantes matriculados no período matutino e no noturno (em %).

Questão	a	b	c	d	e	f	nr (*)
1	50 (60)		40 (30)		8 (5)		2 (5)
2	50 (60)		40 (30)		8 (5)		2 (5)
3	30 (20)		25 (13)	27 (50)	12 (10)		6 (7)
4	45 (47)		8 (7)	32 (39)		10 (5)	5 (2)
5	40 (30)	25 (50)	15 (10)	9			6 (10)
6	25 (18)	29 (22)	(25)		35 (28)		11 (7)
7	40 (45)	45 (35)		12 (15)			3 (5)
8		25 (30)	32 (37)	22 (15)	12 (9)		9 (9)

(*) não responderam a referida questão

Os conteúdos estatísticos que os estudantes do período matutino mais usaram em outras disciplinas e em aplicações extracurriculares referem-se às medidas de tendência central à distribuição de dados; enquanto os estudantes do período noturno empregaram mais as análises de regressão e medidas de tendência central, aplicadas em outras disciplinas do curso que frequentavam.

Os participantes do período matutino acreditavam que os mecanismos estatísticos podiam ser mais úteis na resolução de tarefas escolares de outras disciplinas, enquanto, para os estudantes do período noturno, esses conteúdos eram úteis nas aplicações voltadas às indústrias. Provavelmente, o motivo para essa constatação exploratória esteja relacionado ao fato de que os alunos do período noturno exerciam atividades nos ambientes de trabalho em que estavam condicionados às tarefas do dia-a-dia.

É possível perceber, por meio das respostas apresentadas, que os participantes demonstraram compreender aplicações de diversos conteúdos estatísticos para subsidiar outras disciplinas, porém, percebe-se que poucos entendem aplicações da estatística em situações do cotidiano.

RESULTADOS: O AMBIENTE CONSTRUÍDO NA DISCIPLINA

Além das aulas com conteúdos teóricos desenvolvidos em forma de tópicos, mas com aplicações numéricas envolvendo exercícios e problemas resolvidos pelos professores, essas

incluíram assuntos da estatística não paramétrica, particularmente relacionada aos testes de hipótese. Esses últimos temas foram ministrados seguindo os capítulos 12 a 14 do livro *Estatística aplicada: economia, administração e contabilidade* (FREUND, 2006).

Uma vez que os estudantes começaram a ter o embasamento dos diferentes tipos de estatísticas, os professores utilizaram, em suas aulas, esses métodos estatísticos, porém modificados segundo a necessidade, para verificar a identificação de tendências climáticas a partir de séries históricas relativas às temperaturas média do ar e precipitações pluviométricas, medidas nas estações coletoras de responsabilidade do IAC.

Com o intuito de explicar e orientar os estudantes, optou-se por discutir de que forma é possível, a partir dos dados contidos numa série histórica de um determinado parâmetro climatológico, verificar e identificar uma provável tendência com o emprego dos métodos estatísticos. Para tanto, foram utilizadas séries históricas relativas à temperatura média e precipitação medidas no município de Presidente Prudente entre 1963 e 2010.

Com o uso das planilhas do *Excel*, o procedimento inicial visou a avaliar o comportamento de uma série histórica associada a uma determinada variável de interesse. Para isso, após indicativo de como organizar os dados na planilha, realizaram-se os testes paramétricos com os cálculos das médias móveis, empregando ordem cinco (equação – 1) e as suavizações

(equação – 2), seguindo a proposta vinculada por Sello (2001).

$$\bar{V}_m = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=n-2}^{n+2} V_i \right] \quad (1)$$

$$\bar{V}_n = \frac{1}{6} \left[\sum_{i=n-2}^{n+2} V_i + \frac{1}{2}(V_{n+3} + V_{n-3}) \right] \quad (2)$$

Esses procedimentos permitiram minimizar as eventuais flutuações impostas pelos dados brutos medidos por uma determinada estação coletora.

Em seguida, realizou-se a análise de regressão linear, aplicada tanto aos pontos das médias móveis como aos suavizados à variável em análise, ajustando a linha de tendência para obter o coeficiente linear (a) e a qualidade ao ajuste (R^2). Também se obteve o intervalo de confiança (IC), que possibilitou verificar a probabilidade de o coeficiente angular (a) encontrar-se no seu interior. Maiores detalhes sobre esses procedimentos podem ser conferidos em Penereiro e Ferreira (2011).

Nas reduções dos dados de cada série histórica, para realizar a regressão linear, empregou-se os diferentes recursos de funções, de lógicas, de estatística e de gráficos do Excel, tais como no ícone f_x : Média, Soma, Tipo de tendência, Exibir equação no gráfico, Exibir valor de r-quadrado no gráfico, entre outras.

A Figura 1, adiante, mostra uma das telas geradas pelo Excel, que foi usada nas explicações aos estudantes para aplicar os passos para obtenção da regressão linear para a série histórica da temperatura média registrada em Presidente Prudente. O gráfico mostrado na parte

superior da figura é o ajuste pela média móvel, enquanto o gráfico inferior é o ajuste realizado pelos pontos suavizados. Ao lado esquerdo de cada gráfico, são mostrados os cálculos de cada regressão, além dos coeficientes (a e R^2) e do intervalo de confiança (IC), nos casos fixados em 95%. À direita dos gráficos, encontram-se as equações de retas ajustadas, na forma $y = a \cdot x + b$, além do ajuste R^2 .

Como explicado e enfatizado aos estudantes, pela comparação dos valores de R^2 e o desempenho dos gráficos, percebe-se que, em princípio, parece haver uma tendência de aumento da temperatura média, em Presidente Prudente, durante o período em que foram realizadas as medições.

Entretanto, como explicado aos alunos, por meio de vários exemplos em aulas, apenas os testes paramétricos descritos acima não são suficientes para validar a ocorrência ou não de uma tendência em determinada série histórica. Portanto, outros métodos estatísticos se fazem necessários e devem ser aplicados às variáveis climáticas.

Nesse sentido, seguindo ainda com os dados de temperaturas média em Presidente Prudente, optou-se por envolver os estudantes com testes não paramétricos, como os de Mann-Kendall (MK) (SNEYERS, 1975) e Pettitt (P) (PETTITT, 1979). Foi, então, detalhadamente explicado o teste MK, que permite detectar e localizar, de forma aproximada e quando existir, o ponto inicial de determinada tendência.

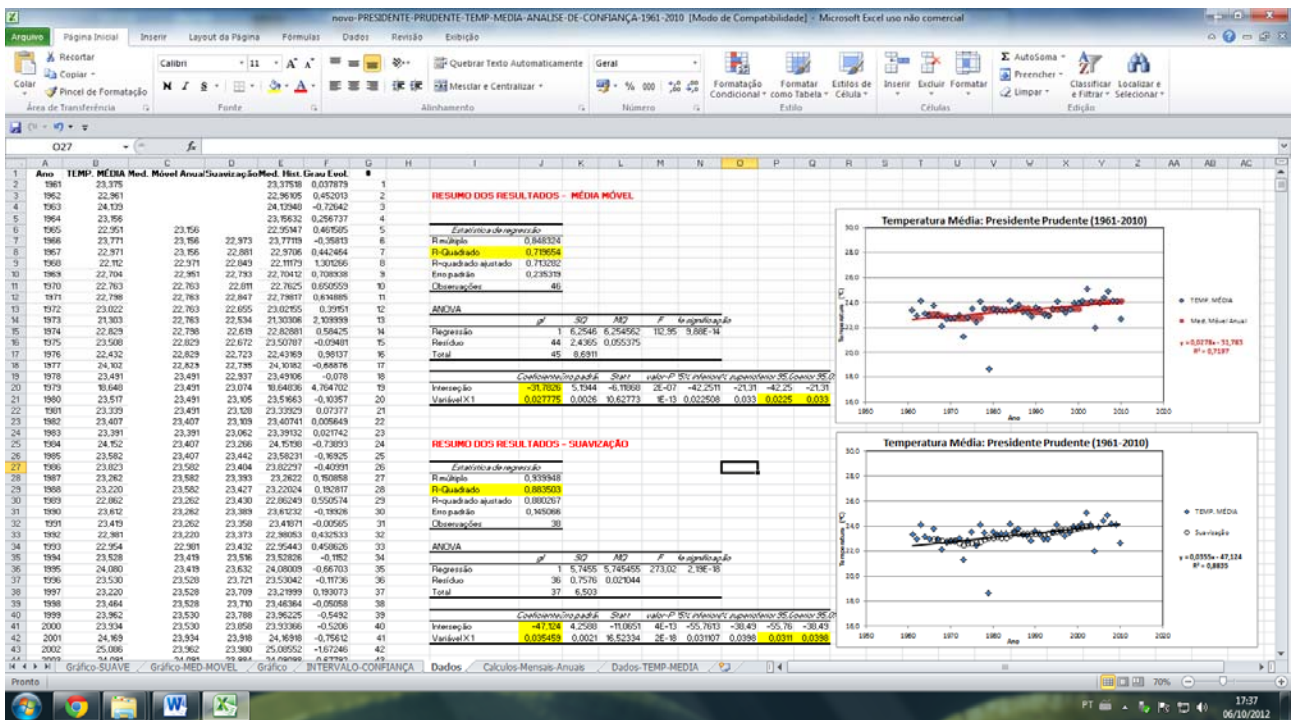


Figura 1 – Exemplo de uma tela do Excel contendo alguns procedimentos realizados em uma aula demonstrativa, visando a encontrar o melhor ajuste linear, pela média móvel e a suavização, além do intervalo de confiança.

Assim como descrevem Moraes e seus colaboradores, explicou-se aos estudantes que esse método considera uma série de Y_i de N termos, $1 \leq i \leq N$ a ser analisada. O teste consiste na soma $t_n = \sum_{i=1}^N m_i$ do número de termos m_i da série, relativo ao valor Y_i , cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($Y_j < Y_i$).

Quando N é grande, sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, t_n apresentará uma distribuição normal, com média $E(t_n) = \frac{N \cdot (N-1)}{4}$ e variância $var(t_n) = \frac{N \cdot (N-1) \cdot (2 \cdot N + 5)}{72}$ (MORAES *et al.*, 1995).

Testando a significância estatística de t_n para a hipótese nula, usando um teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística $U(t_n)$, por meio da equação:

$$U(t_n) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{var(t_n)}} \quad (3)$$

O valor da probabilidade α_1 é calculado por meio de uma tabela da normal reduzida, tal que: $\alpha_1 = prob(|U| > |U(t_n)|)$. Sendo α_0 o nível de significância do teste (geralmente $\alpha_0 = 0,05$), a hipótese nula é aceita se $\alpha_1 > \alpha_0$. Caso a hipóte-

se nula seja rejeitada, implicará a existência de tendência significativa, sendo que o sinal da estatística $U(t_n)$ indica se a tendência é crescente ($U(t_n) > 0$) ou decrescente ($U(t_n) < 0$).

Em sua versão sequencial, a equação $U(t_n)$ é calculada no sentido direto da série, partindo do valor $i=1$ até $i=N$, gerando a estatística $U(t_n)$ e, no sentido inverso da série, partindo do valor $i=N$ até $i=1$, gerando a estatística $U^*(t_n)$. A intersecção das duas curvas, $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$, representa o ponto aproximado de mudança de tendência, se ele ocorre dentro do intervalo de confiança $-1,96 < U(t_n) < 1,96$ ($\alpha_0 = 0,05$).

Mostrou-se aos estudantes, por meio de uma planilha já desenvolvida, como se processa o teste MK acima descrito, além de quais variáveis deveriam ser usadas no Excel, de forma a processar os dados de uma série histórica. No caso, justificou-se o emprego dos diferentes recursos de funções, de lógicas, de estatística e de gráficos, tais como no ícone f_x : Desvpad, Cont.se, Procv, Cont.núm, se, Tipo de tendência, entre outras.

A Figura 2 ilustra uma das telas do Excel, contendo o resultado do teste MK, para os dados de temperatura média em Presidente Prudente.

Na sequência, partiu-se para a explicação do teste não paramétrico de Pettitt (P). Como salientam Moraes e colaboradores, esse teste é o que possibilita localizar, com mais precisão, o ponto em que, eventualmente, ocorre uma mudança brusca nas medidas de uma série de dados.

O teste P utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney (FREUND, 2006), em que se verifica se duas amostras Y_1, Y_2, \dots, Y_i e $Y_{i+1}, Y_{i+2}, \dots, Y_T$ são da mesma população. A estatística $U_{i,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda amostra, que pode ser escrita de acordo com a equação $U_{i,T} = U_{i-1,T} + \sum_j \text{sgn}(Y_i - Y_j)$; para $t = 2, \dots, T$, onde: $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; e $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$. A partir disso, a estatística $U_{i,T}$ é, então, calculada para valores de $1 \leq i \leq T$, e a estatística $K(t)$ do teste é o máximo valor absoluto de $U_{i,T}$. Essa estatística $K(t)$ localiza o ponto em que houve uma mudança brusca na média de uma série temporal, e sua significância pode ser avaliada através da equação:

$$p \cong 2 \cdot e^{\left(\frac{-6 \cdot (K(t))^2}{(T^3 + T^2)} \right)}$$

O ponto de mudança brusca é aquele no qual o valor de t ocorre para o máximo de $K(t)$. Através da inversão da equação anterior,

é possível inferir os valores críticos de $K(t)$ por meio de:

$$K_{crit.} = \pm \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right) \cdot (T^3 + T^2)}{6}} \quad (4)$$

Ressalta-se que, assim como no teste MK, para ser avaliado de forma mais criteriosa, também foram adotados os níveis de significância de 5% e 10% para se detectar eventual mudança da variável climática em estudo.

Uma tela demonstrativa do Excel, contendo o resultado do teste P para a cidade de Presidente Prudente, está ilustrada na Figura 3. À direita da figura, encontra-se o gráfico das estatísticas desse teste, mostrando o comportamento da curva $K(t)$, além dos intervalos de confiança (retas pontilhadas). Como explicado para os estudantes, é justamente a estatística $K(t)$ que localiza o ponto em que ocorreu a mudança brusca na média da série histórica, sendo que, nesse caso, se a curva $K(t)$ cruzar os níveis de significância do valor calculado para K_{crit} , indica a ocorrência da “quebra” na série histórica, evidenciando-se a existência e em que data se localiza o início da tendência. No caso dos dados de Presidente Prudente, inferiu-se o ano de 1994 como o início do aumento da temperatura média anual.

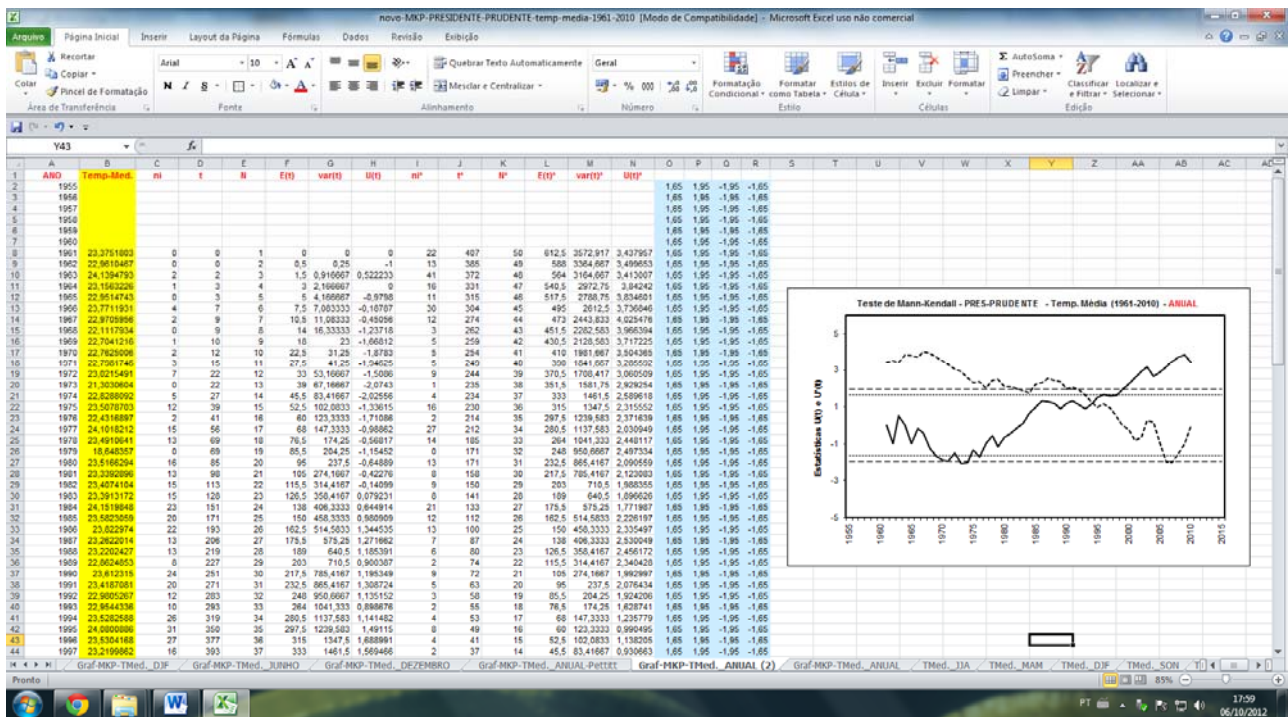


Figura 2 – Exemplo de uma tela do Excel, mostrado em uma aula demonstrativa, contendo os procedimentos do teste de Mann-Kendall realizados para os dados de temperatura média em Presidente Prudente.

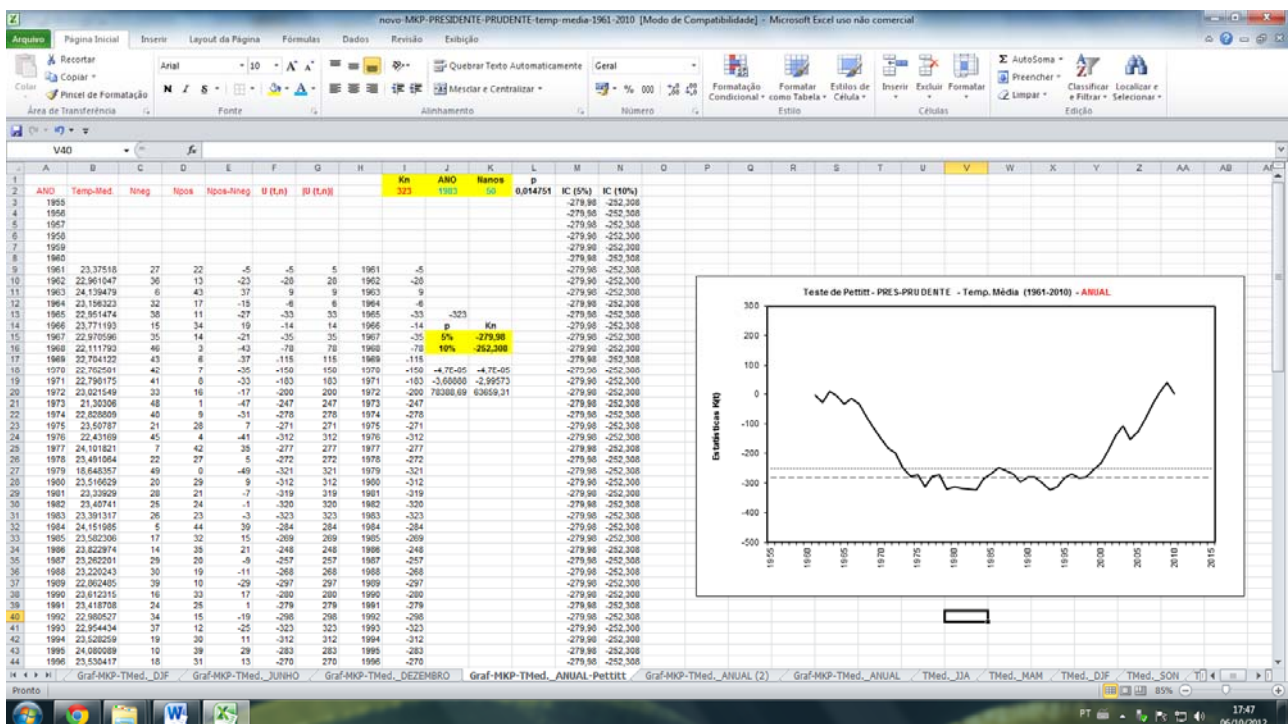


Figura 3 – Assim como na figura anterior, um exemplo de uma tela do Excel, contendo os procedimentos do teste de Pettitt realizados com os dados coletados na estação meteorológica de Presidente Prudente.

Nesse ponto, foi ressaltado aos estudantes que, para os dados dessa cidade, tanto no teste MK, no qual ocorreu o cruzamento de $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$, dentro dos intervalos de confiança em 1994 (gráfico da Figura 2), como no teste P, em que a curva $K(t)$ cruzou os níveis de significân-

cia nessa mesma data (Figura 3), ficou confirmada, decididamente, a tendência positiva desse ano.

Os embasamentos teóricos mencionados acima foram transmitidos aos estudantes, seguindo a literatura específica no assunto

(MORAES *et al.*, 1995; BACK, 2001; MORTATTI *et al.*, 2004), além da obra *Estatística aplicada: economia, administração e contabilidade* (FREUND, 2006).

RESULTADOS: AS ESTATÍSTICAS OBTIDAS PELOS GRUPOS DE TRABALHO

Como se imaginava *a priori*, durante todas as atividades, muitas discussões foram geradas entre os participantes, ocasionando um aprendizado significativo, não apenas dos métodos e conteúdos estatísticos e de informática envolvidos, como também das questões relacionadas ao meio ambiente. Os professores, além dos bolsistas que os auxiliaram, decidiram que os estudantes apresentassem os projetos desenvolvidos em forma de tabelas e gráficos, pois, além de ser uma forma sintética e elegante de mostrar os resultados encontrados, permitiria compartilhá-los facilmente, além de possibilitar tirar conclusões mais contundentes. A seguir, são mostrados alguns desses resultados obtidos pelos grupos de estudantes nos projetos desenvolvidos.

Assim como foi indicado e realizado pelos professores, em sala de aula, o primeiro procedimento relacionado à verificação de possível tendência foi usar a abordagem estatística paramétrica. Os gráficos da Figura 4 mostram os resultados das análises de regressão linear, aplicados à grandeza ‘temperatura média’ para a cidade de Campinas, entre 1910 e 2010. Nos gráficos das figuras 4a e 4b, revelam-se acréscimos dessa grandeza ($a > 0$) aplicando a média móvel e a suavização aos dados, respectivamente. As equações lineares e a qualidade do ajuste (R^2), em cada situação, estão indicados na parte inferior de cada gráfico.

De forma análoga, nos gráficos das figuras 5a e 5b, encontram-se os comportamentos, porém estáveis ($a \approx 0$), para o índice de precipitação pluviométrica para a cidade de Campinas, no período entre 1890 e 2010.

Comparando os gráficos obtidos nas figuras 4 e 5, tanto pelas médias móveis como pelas suavizações, os estudantes verificaram que os dados tratados pela suavização possuíam menos flutuações do que quando tratados por meio da

média móvel. Isso pode ser comprovado pelos valores R^2 , uma vez que quanto mais próximo da unidade, menor dispersão dos dados e, conseqüentemente, melhor o ajuste realizado.

Numa primeira análise, tomando como base os dados suavizados por intermédio do uso da regressão linear, identificou-se que, para todas as localidades estudadas nos projetos desenvolvidos, foram encontrados indícios de aumento nos índices de temperaturas médias e de precipitações.

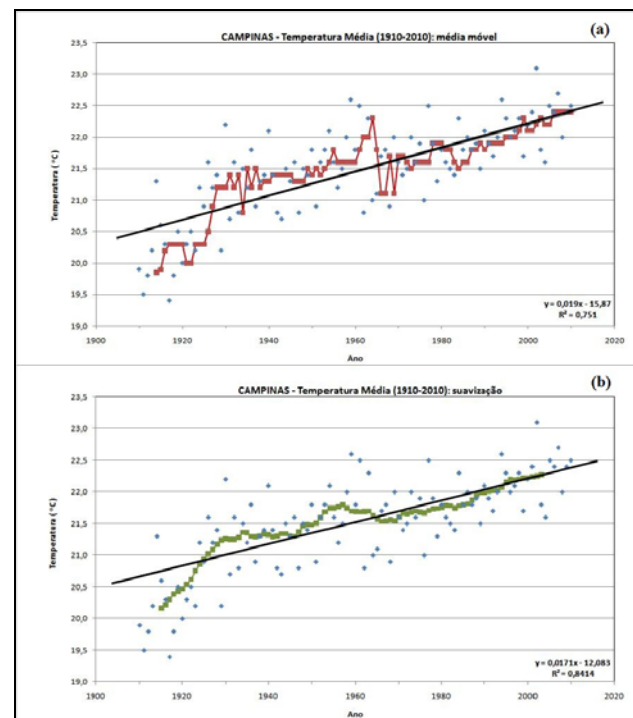


Figura 4 – Análise da regressão linear aplicada aos pontos interligados das médias móveis (a) e suavizados (b) para os dados da temperatura média (pontos isolados) da cidade de Campinas, no período entre 1910 e 2010.

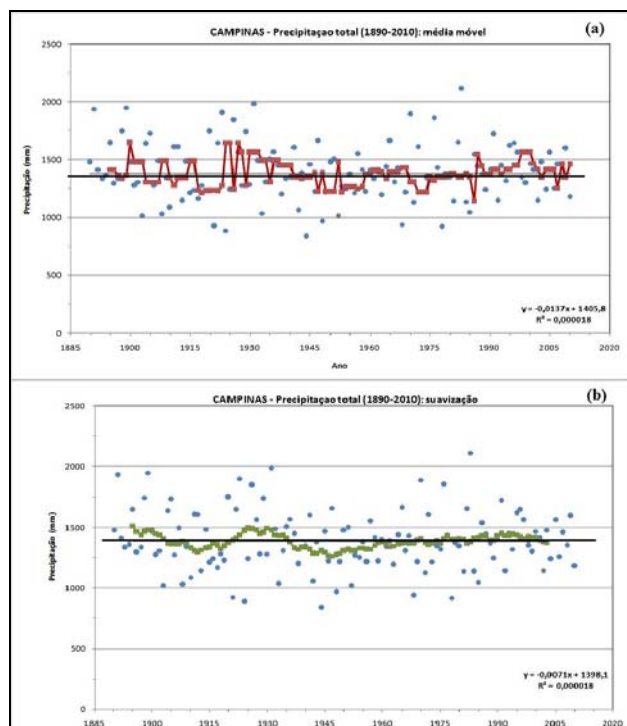


Figura 5 – Idem, para precipitação pluviométrica na cidade de Campinas, entre 1890 e 2010.

Como esclarecido nas aulas, embora as análises de regressão descritas parcialmente acima por meio de gráficos (Figura 4 e 5) possam, em princípio, representar as possibilidades de eventuais tendências das amostras de dados estudadas, os intervalos de confiança empregados para esse tipo de análise tornam-se limitados para tomar a decisão se determinada série histórica sofre ou não tendência. O mesmo ocorreu para as demais localidades, como se verifica nas informações contidas na Tabela 2, juntamente com os valores do R^2 .

Devido a essas limitações, observadas pelos grupos de estudantes, e com o intuito de obter resultados mais confiáveis, todos foram orientados pelos professores a usarem os testes de MK e P em todos os projetos, previamente designados.

No presente trabalho, por serem informações relevantes do ponto de vista das atividades desenvolvidas com os estudantes, decidiu-se apresentar apenas as formas gráficas desses testes (MK e P), tanto para a temperatura média como para a precipitação pluviométrica da cidade de Campinas (Figuras 6 e 7), além dos resultados obtidos para a precipitação pluviométrica na cidade de Pariqueira-Açu (Figura 8).

Nos gráficos que demonstram esses testes, as linhas horizontais pontilhadas representam os limites críticos acima e abaixo dos intervalos de confiança de 5% (pontilhadas) e 10% (contínuas).

Como verificado antes para o teste de MK, somente ocorrerá uma suspeita de tendência quando os valores da estatística de $U(t_n)$ (em traçado contínuo) cruzam os da estatística $U^*(t_n)$ (em traçado pontilhado), dentro dos intervalos de confiança (GROPPO *et. al.*, 2005; PENEREIRO; FERREIRA, 2011). O suposto início dessa tendência pode ser identificado pela intersecção das curvas $U(t_n)$ com $U^*(t_n)$, nos gráficos das figuras 7a (para o ano 1991) e 8a (em 1995). No gráfico da Figura 6a, para temperatura média em Campinas, nota-se que o cruzamento dessas duas estatísticas ocorreu em 1940, porém, como se encontra fora dos intervalos de confiança, a tendência nessa série histórica foi descartada.

No caso do teste de P, o ponto de mudança brusca de $K(t)$ (tomado sempre em módulo) ocorre quando esse for maior que os limites críticos estabelecidos. No entanto, essa condição deixa de ser verdadeira, quando os valores que estão em seguida ao valor crítico oscilam em intervalos próximos ao valor máximo. Nessa situação, o último valor do intervalo de oscilação indica o ponto de início da tendência (PETTITT, 1979).

Avaliando os dois testes simultaneamente, as análises dos resultados para a cidade de Campinas, apresentados nas figuras 6b e 7b, mostram flutuações da temperatura média e precipitação pluviométrica, respectivamente.

Como identificado antes, no caso da temperatura média, nota-se ausência de tendência no teste MK, pois o cruzamento das curvas estatísticas encontra-se fora do intervalo de confiança. Porém, evidencia-se a tendência no teste P, certificando-se a ausência de tendência para essa variável nessa localidade (Figura 6). Entretanto, os dados de precipitação mostram-se com evidência de tendência no teste MK e ausência de tendência no teste P, rotulando-se também a ausência de tendência para essa variável nessa localidade (Figura 7).

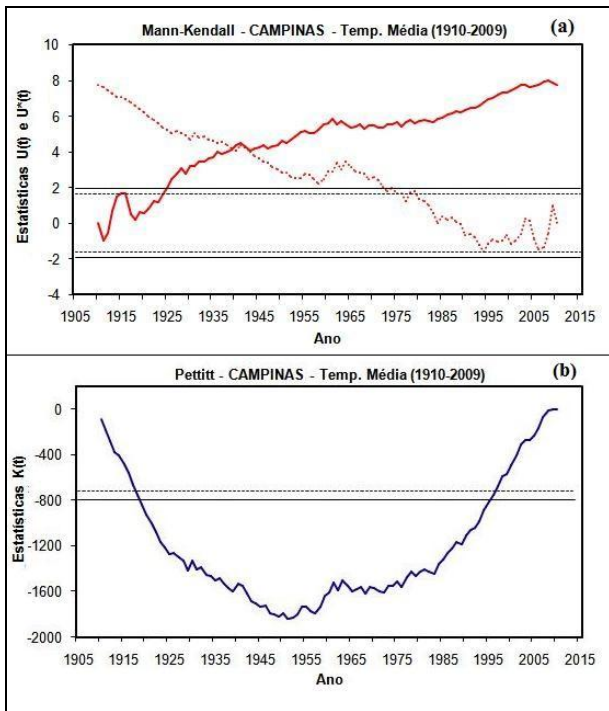


Figura 6 – (a) Testes de Mann-Kendall, e (b) Pettitt, para os dados de temperatura média do ar na cidade de Campinas.

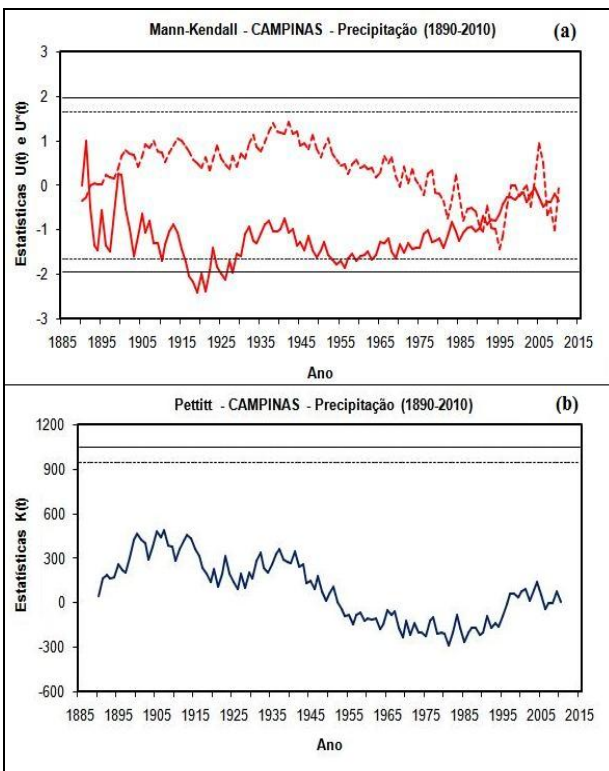


Figura 7 – Idem, para os dados de precipitação pluviométrica da cidade de Campinas.

No caso da cidade de Pariqueira-Açu (Figura 8), para a série de precipitação pluviométrica, verificou-se tendências positivas em ambos os testes, sendo que esse comportamento foi

observado de forma significativa a partir de 1995.

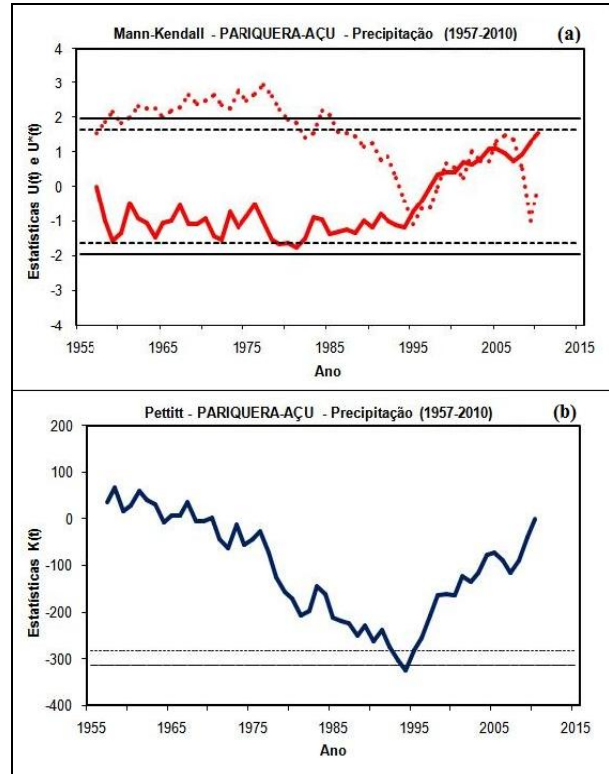


Figura 8 – Idem, para os dados de precipitação pluviométrica da cidade de Pariqueira-Açu, confirmando tendência positiva a partir de 1995.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos parâmetros dos ajustes estatísticos para os testes paramétricos e não paramétricos, realizados para os cinco municípios trabalhados pelos grupos de estudantes, sendo elencados: localidades; variáveis e períodos analisados; coeficiente angular (a); poder de ajuste (R^2); intervalo de confiança (IC); e os resultados acusados pelos testes MK e P. Nos casos desses dois últimos testes, adotaram-se as letras “D” e “F” para afirmar, respectivamente, se as curvas estatísticas estão dentro ou fora dos intervalos de confiança. Colocou-se um sinal (+) ou (-) para identificar a confirmação de uma tendência positiva (crescente) ou negativa (decrecente) e, em seguida, o ano a partir do início dessa ocorrência. Para os casos em que não houvesse condições de confirmar tendência, um sinal de interrogação (?) foi adotado.

Mesmo tendo trabalhado com apenas cinco localidades, os estudantes se envolveram com uma grande quantidade de informações numéricas, o que possibilitou realizar análises

estatísticas relevantes e diferenciadas a respeito das informações climáticas envolvidas no processo de redução de dados, como pode ser verificado nos gráficos e tabelas analisados.

Alguns detalhes das discussões e reflexões ocorridas entre os professores e os estudantes são mostrados a seguir.

Tabela 2 – Resultados das análises dos testes estatísticos paramétricos e não paramétricos aplicados aos dados suavizados nas cinco cidades paulistas abordadas nos projetos desenvolvidos pelos estudantes. Dados em parênteses indicam os ajustes efetuados sobre as médias móveis.

Cidade	Série	a	R ²	IC (95%)	MK	P	Tendência
Campinas	T: 1982-2010	+ 0,0171 (+ 0,0019)	0,8414 (0,7510)	+0,0156 a +0,0187 (+0,0168 a +0,0213)	F	D	(?)
	P: 1982-2010	+ 0,0132 (- 0,0137)	0,0053 (0,0001)	-0,0215 a +0,0479 (-0,0693 a +0,0983)	D	F	(?)
Pindamonhagaba	T: 1952-2010	+ 0,0242 (+ 0,0253)	0,8659 (0,5526)	+0,0215 a +0,0273 (+0,0189 a +0,0316)	D	D	(+) 1968
	P: 1952-2010	+ 5,5218 (+ 0,3188)	0,5776 (0,1515)	+4,1045 a +6,9401 (+0,1089 a +0,5287)	D	F	(?)
Ribeirão Preto	T: 1953-2010	+ 0,0209 (+ 0,0195)	0,5808 (0,4152)	+ 0,0158 a +0,0285 (+ 0,0130 a +0,0261)	D	D	(+) 1992
	P: 1937-2010	+ 2,1708 (+ 0,0438)	0,2725 (0,0049)	+ 1,2549 a +3,0872 (- 0,1087 a +0,1963)	D	F	(?)
Limeira	T: 1953-2010	+ 0,0182 (+ 0,0220)	0,3099 (0,3008)	+ 0,0103 a +0,0274 (+ 0,0126 a +0,0315)	D	D	(+) 1993
	P: 1934-2010	+ 0,4442 (- 0,1037)	0,0355 (0,0309)	- 0,1389 a +1,0282 (- 0,2419 a +0,0346)	D	F	(?)
Pariquera-Açú	T: 1957-2010	+ 0,0102 (- 0,0032)	0,1423 (0,0042)	+ 0,0023 a +0,0189 (- 0,0176 a +0,0112)	D	F	(?)
	P: 1957-2010	+ 5,2821 (+ 0,1057)	0,5201 (0,0207)	+ 3,6609 a +6,9042 (- 0,1073 a +0,3187)	D	D	(+) 1995

(?) significa tendência não detectada; (+) tendência crescente e (-) decrescente, com o ano de ocorrência.

DISCUSSÕES REFLEXIVAS

No decorrer da disciplina, além do questionário apresentado anteriormente (Apêndice 1), várias questões foram elaboradas pelos professores e aplicadas aos estudantes, na medida em que as atividades eram realizadas. As respostas a essas questões acabaram por gerar discussões, entre os participantes, no âmbito de assuntos pertinentes à estatística e ao meio ambiente, incluindo a lógica envolvida nos procedimentos usados no *Excel* durante o processo de redução dos dados. A seguir, são destacadas algumas dessas intervenções. Com o intuito de preservar a identidade dos envolvidos, empregou-se a convenção: A1m,..., A11m, para nomear os estudantes do período matutino, identificado por

(m); e A1n,..., A14n, para aqueles do período noturno (n); B1 e B2 para os bolsistas, além de *P1* e *P2* para os professores responsáveis pela disciplina optativa.

A questão inicial que instigou as demais falas foi idealizada por um dos professores, e consistiu em:

(P1) Você acha que seria possível trabalhar com todos os dados de uma determinada série histórica envolvendo apenas a média anual, ou deveríamos usar a média móvel ou então a suavização dos dados? Por quê?

(A3m) Acho que deve ser utilizada a média móvel e a suavização, pois assim é possível obter maior precisão nos resultados ao realizar a análise de tendência da série histórica.

(B2) É importante a utilização da média móvel, pois é possível escolher o número de ter-

mos que se deseja filtrar, e assim obter um ajuste estatístico mais suave, evitando flutuações inerentes aos dados.

(P2) Você tinha ideia da utilidade da regressão aplicada a uma amostra de dados empíricos?

(A1n) Sim, eu já sabia ajustar, mas não entendia o que estava fazendo na realidade. Era algo assim mecânico, pois fazia vários “cliques” no teclado quando usava o *Excel*, e não tinha um conhecimento verdadeiro do que estava por detrás dos cálculos realizados. Acho que, agora, compreendi melhor, aprendi a utilidade e como interpretar essas análises.

(A5m) Eu aprendi a usar o *Excel* só nas aulas da disciplina “Estatística”. Quando eu tentava usar novamente, fora das aulas, sem o apoio de alguém, ficava com muitas dúvidas e acabava desistindo. Nessa disciplina, foi possível treinar mais o uso das ferramentas do *Excel* e ver que é um programa muito poderoso para realizar diferentes tipos de cálculos e gráficos.

(P1) O que representa a reta de regressão ajustada aos dados de uma determinada série histórica?

(A2m) A meu ver, a reta de regressão representa se a série histórica de dados do clima tem tendência ao crescimento ou ao decréscimo.

(B1) Acho que a reta de regressão é aquela que melhor se ajusta aos pontos medidos de uma determinada série histórica.

(P1) O que representa, no caso da regressão linear, o cálculo do coeficiente “a”? O que significa o valor de R^2 ser próximo de 0 ou 1?

(A4m) O cálculo de “a” representa o coeficiente angular da reta, ou seja, qual é a sua inclinação (crescente ou decrescente) da reta ajustada aos pontos. O R^2 mais próximo de 1 representa maior proximidade nos valores, e mais próximo de 0 menor proximidade.

(B2) Assumindo a equação $y = a \cdot x + b$ e observando-se o coeficiente angular “a”, que mostra qual a inclinação da reta nessa equação, pode-se perceber uma tendência naquela série histórica. Se o sinal for negativo, a tendência é decrescente, e se for positivo, ela é crescente, se for nulo, pode-se admitir que não há tendência na série estudada. O valor de R^2 indica a qualidade do ajuste da linha de tendência sobre os pontos, isto é, a qualidade da equação da reta ajustada aos pontos experi-

mentais. Quanto mais próximo de 1, significa que melhor é esse ajuste realizado.

(P2) O que representa o Intervalo de Confiança (IC) no processo de redução dos dados? O uso do Excel envolveu o cálculo do IC para quais parâmetros disponíveis numa série temporal?

(A7n) Creio que representa o intervalo de números em que o valor de “a” deva estar embutido. O *Excel* também calcula os ICs dos parâmetros de “interseção”, o coeficiente linear e da “variável xI ”, que representa o coeficiente angular.

(P2) Então, o que significa, e para que serve, o valor de “b” da reta de regressão?

(A6m) Eu aprendi que o valor de “b” representa onde haverá interseção pela reta no eixo Y, mas não sei se é isso nesse caso específico.

(B2) Como na equação da reta o valor de “a” mostra qual a inclinação que ela possui, o coeficiente linear “b”, na reta, é o valor da reta ao interceptar o eixo Y, quando $X=0$.

(P1) Sendo assim, a reta de regressão apresentada pode indicar alguma tendência existente na base de dados que está sendo estudada. Certo? Mas, por quê?

(A10m) Acho que pode, pois se a reta de regressão for crescente, ela representa que existe uma tendência de crescimento. Mas, se a reta for decrescente, indica que a tendência é de decréscimo na série histórica, e, se for perto ou igual a zero, não podemos falar que existe tendência. Mas, se houver tendência visível, ainda assim, não podemos saber a partir de quando ela se iniciou, e também qual foi a confiabilidade das análises dos dados.

(P2) Quais foram as dificuldades que vocês encontraram em obter a reta de regressão pelo Excel?

(A11n) Achei que as maiores dificuldades foram com a quantidade de dados, pois, em algumas séries históricas, o número de dados anuais era pouco, o que acarretou resultados obtidos que podem ter uma imprecisão maior quando comparados a uma série com muitos dados medidos.

(A15n) Com um R^2 muito próximo de zero, achei que ficou difícil confiar no ajuste da reta obtida pelo gráfico.

(P2) Para vocês, qual a importância de visualizar essas tendências?

(A7n) Acho que é para verificar qual é a tendência (de crescimento ou decréscimo), para depois relacioná-la com outros testes estatísticos mais poderosos.

(B1) Na minha visão, eu acho que é importante esse tipo de visualização para que sejam relacionados, ou não, os parâmetros climáticos e as influências antrópicas e do meio ambiente.

(P2) Como assim?

(B1) Ah... se achar tendência, é porque algo ocorreu numa certa data. Pode ter sido o homem que causou essa modificação, a partir daquela data, ou ainda pode ter sido devido a um fenômeno da natureza, como seca prolongada, por exemplo.

(P1) O que você entendeu a respeito da necessidade de usar um teste não paramétrico? Compare com o teste paramétrico.

(B2) Pelo que entendi, o teste paramétrico exige que uma determinada série tenha uma distribuição normal, já os não paramétricos não exigem tanto assim. Um teste não paramétrico é mais complexo e trabalhoso, pois ele pede para que sejam estabelecidas hipóteses, como a de nulidade e a da alternativa. Ele também usa o nível de significância que se estabelece antes do cálculo. Por isso, eu acho que ele torna o estudo mais confiável em termos das análises a serem feitas depois.

(P1) Isso mesmo, é um teste mais refinado e que usa uma estatística mais sofisticada, pois envolve cálculos de média e variância, relacionando essas quantidades.

(P2) Então, me diga quais foram as dificuldades em trabalhar com os testes Mann-Kendall (MK) e Pettitt (P)?

(A13n) A maior dificuldade que encontrei foi em analisar os gráficos obtidos nos testes e saber o que as informações representavam em cada um. Tive dúvidas em encontrar onde se iniciava uma tendência.

(A7m) A princípio, o entendimento dos dois testes foi difícil, pois não sabia direito para que serviriam e nem como seriam utilizados. Além disso, não tinha contato mais aprofundado em conhecimento de planilhas do Excel, por isso, estou achando legal a disciplina, pois meus colegas que sabem mais me ajudam. Outra coisa que dificultou para mim é que as séries históricas obtidas nem sempre estavam completas, ou havia poucos dados medidos.

(P1) Usando o Excel e confrontando com as equações matemáticas dos testes estatísticos,

que foram usados e também explorados em artigos científicos, foi possível entender a lógica envolvida nos testes MK e P? Tente explicar um pouco sobre esses testes, isto é, como foi possível observar, por meio deles, se há ou não tendência de uma série histórica analisada.

(A14n) Considero que os testes de MK e P foram realizados para indicar, de forma mais aproximada, o ponto inicial em que ocorrem as tendências. Caso esses testes apresentem resultados inválidos, pode significar que a tendência não é confirmada.

(A6m) Eu acho que foi possível entender a lógica, porém, foi bastante complexo, já que alguns conceitos foram novos para mim dentro da "Estatística". Sem a explicação e o apoio dos professores e dos monitores (bolsistas), eu acho que não conseguiria fazer quase nada, porque não saberia quais equações usar, e também que tipo de informação extrairia a partir do uso delas. Apenas olhando os artigos científicos passados em aula e explicados pelos professores, fica muito difícil tomar uma decisão de como desenvolver um programa desse nível no Excel.

(B2) Os dois testes são testes estatísticos não paramétricos. O teste de MK mostra que há uma tendência quando, depois de feitos os cálculos com os dados da série histórica, representados pelo gráfico com as curvas estatísticas $U(t_n)$ e sua inversa $U^*(t_n)$, houver o cruzamento dessas duas curvas, dentro dos intervalos de confiança estabelecidos. A partir desse ponto, é detectado, então, o início da tendência, e se pode verificar em qual ano isso aconteceu. O teste de P complementa o teste de MK, no qual, após feitos os cálculos representados pelo gráfico, a curva estatística $K(t)$ deve cruzar as linhas de níveis de significância. O seu ponto crítico, que é o maior ou menor valor, dependendo do caso estudado, vai indicar em que ano se iniciou a tendência. É claro que ambos os testes devem apresentar a mesma data para que seja confirmada e seja significativa a tendência.

(P1) Exatamente, o teste de Pettitt complementa o teste Mann-Kendall no que concerne à determinação de uma eventual tendência. Mas, vocês acham que esses testes (MK e P) são suficientes para visualizar tendência desses parâmetros? Seria necessário usar outros testes?

(B1) Pelo que eu li na literatura passada para nós, são os melhores testes para esse tipo de

estudo. Existem outros testes, como o “teste de Run”, porém, eu penso que esses são inferiores ou que não servem para tratar os dados do clima.

(P2) Como no teste de MK fica estabelecida a tendência de uma série de dados?

(A5n) A tendência ocorre quando as curvas estatísticas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ se cruzam dentro do intervalo de confiança.

(B2) Eu também acho que a tendência é identificada quando ocorre o cruzamento das linhas estatísticas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ dentro do intervalo de confiança. Também acho que é a partir do cruzamento, observado no gráfico, que se pode verificar se a tendência é crescente ou decrescente.

(P2) Ocorre que, em alguns casos, como vimos nas aulas, há vários cruzamentos. E aí? Como fica o início dessa tal tendência? Dá para confiar no teste isolado? É por esse motivo que devemos também usar o teste de P. E no teste de P, o que representa o valor crítico?

(A2n) Ele representa quando há tendência. Quando a curva está decrescendo e depois começa a crescer, significa que há tendência nesse ponto.

(A3m) Acho que é o valor crítico $K(t)$ que indica o ponto de mudança brusca na série histórica.

(B2) Creio que, no teste de P, o valor crítico é o valor a partir do qual fica representado o início da mudança brusca na curva $K(t)$, interceptando os intervalos de confiança estabelecidos. Esse ponto indica a data de ocorrência da tendência existente.

(P2) É... Nesse caso, a curva deve cruzar os intervalos de confiança e o valor crítico deve estar acima ou então abaixo dele, dependendo de cada caso estudado.

(P1) Como se relaciona temperatura e precipitação? Ou seja, se a temperatura aumenta, podemos afirmar que a precipitação também aumenta e vice-versa?

(A13n) Eu aprendi no colégio que, normalmente, o que ocorre é que, quanto maior for a temperatura, ocorrerá a condensação de maior quantidade de água, sendo assim, choverá mais, marcando maiores índices de precipitação. Por isso é que chove mais no verão. Mas isso depende de outros fatores, como ventos, pressão atmosférica, etc.

(B1) Eu acho que não se pode afirmar com certeza que se um parâmetro aumenta, outro irá aumentar junto. São dados de parâmetros climatológicos, e, apesar de estarem interligados, ainda existem muitos outros parâmetros e interferências antropológicas ou naturais que afetam esse meio, devendo ser analisados cuidadosamente esses dados.

(P1) Tanto eu como meu colega (P2) gostaríamos de saber se o que vocês aprenderam em sala de aula e com as atividades realizadas nesse trabalho acrescentaram mais conhecimento? Quais foram? Foi importante para vocês o desenvolvimento desse projeto?

(A12n) Sim... Eu aprendi muito, professor. Principalmente algo que nem tinha noção ou imaginava que poderia ser feito... O de realizar testes estatísticos, ainda mais utilizando programas como o *Excel*. Com certeza, adquiri maiores conhecimentos sobre os comportamentos de temperatura e precipitação, entre outros assuntos envolvidos na disciplina.

(A11m) Olha... Além do que o meu colega disse, observei e testemunhei mais uma utilidade da estatística. Também entendi um pouco melhor sobre as variáveis climáticas. Eu achei muito proveitosos esses estudos e o projeto desenvolvido pelo meu grupo. Acho que deveriam existir mais disciplinas desse tipo no curso que faço.

Diante das manifestações colhidas de alguns estudantes que participaram da disciplina optativa, e transcritas parcialmente acima, pode-se perceber que eles passaram a conceber a ciência estatística de outra maneira, uma vez que tiveram a oportunidade de vivenciar aplicações em problemas concretos relativos ao meio ambiente, como foram as questões e as tarefas envolvidas nos projetos de grupos, relacionadas à climatologia, propostas pelos professores.

As atividades desenvolvidas foram diferentes das que normalmente ocorrem em salas de aula convencionais, pois os estudantes estavam focados em aprender assuntos novos, que foram ao encontro de seus interesses acadêmicos, porém, com uma conotação social relevante, em função da possibilidade de refletir a respeito de um tema da atualidade, que é o propalado aquecimento global.

Muitas outras discussões interessantes foram levantadas ao longo das atividades, entre-

tanto, devido ao exíguo espaço disponível, não foram aqui comentadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, buscou-se mostrar as discussões que ocorrem ao se incluir conteúdos estatísticos aplicados a dados reais de algumas grandezas climáticas, relacionadas ao meio ambiente, trabalhadas numa disciplina optativa para cursos de engenharia. No entendimento de que a matemática e a estatística podem ser usadas para descrever e interpretar dados empíricos para solucionar diversos problemas e, como consequência, obter decisões mais acertadas (SKOVSMOSE, 2008), este trabalho teve o intuito de mostrar que é possível envolver estudantes de engenharias de IES no ensino e na aprendizagem de assuntos extracurriculares, como é o caso dos efeitos que causam o aquecimento global.

Tendo sido uma disciplina de caráter interdisciplinar, empregando temas da matemática, estatística, informática, meio ambiente, e suas interfaces com as engenharias, foi possível desenvolver atividades em que os estudantes visualizassem, aprendessem e praticassem as medidas reais relacionadas ao clima em testes estatísticos específicos para identificar e analisar as tendências dos parâmetros climáticos de interesse. Isso possibilitou aos estudantes a oportunidade de ter uma visão mais crítica a respeito das informações tratadas, além de alertar sobre a problemática ambiental.

Ao longo do desenvolvimento da disciplina, percebeu-se uma profícua interação entre os participantes, o que resultou positivamente na cooperação entre os estudantes de diferentes cursos. Isso corrobora com Clark e Ernest (2007), ao destacarem a importância para o ensino e a aprendizagem quando Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) estão integradas com os conteúdos matemáticos. Sobretudo para o engenheiro moderno, pois há uma demanda muito grande, em seu ambiente de trabalho, cobrando habilidades para interpretar textos, trabalhar com dados, analisar gráficos e operar matematicamente números e símbolos.

Um fato que chamou a atenção foi o relato exarado por um dos estudantes na penúltima aula da disciplina, ao afirmar que: “Até o momento, nas aulas, os termos são bem técnicos e alguns até muito superficiais, ficando difícil imaginar a aplicação desses aprendizados na prática, além de serem de ampla abrangência, os temas estudados eram de pouca ou quase nenhuma dinâmica em grupo. Com essa disciplina, descobri um lado que não havia percebido ainda, o de gostar de fazer pesquisa em engenharia, e ainda mais em uma área que tenho muito interesse, que são as causas que alteram o clima e suas consequências. Acho que não foi somente os novos conhecimentos em Estatística e com o uso do *Excel* de forma diferenciada que eu aprendi, mas toda a dinâmica envolvida e que cerca o conhecimento de um tema tão instigante”.

As considerações apontadas neste trabalho fortalecem a possibilidade de enfatizar aplicações do dia-a-dia, de maneira a encarar essas áreas do conhecimento de forma mais agradável, oferecendo, ao mesmo tempo, a oportunidade de desenvolver entre os estudantes visões e compreensões mais adequadas do que seja o ensino universitário nos diversos campos das engenharias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos estudantes envolvidos na disciplina, pelas discussões realizadas em sala de aula; agradecem também aos avaliadores da REE da ABENGE, pela revisão crítica e valiosas sugestões recebidas.

REFERÊNCIAS

- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.
- CIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Disponível em: <<http://www.ciagro.sp.gov.br>> Acesso em: 25 fev. 2011.
- CLARK, A. C.; ERNST, J. V. A model for the integration of science, technology, engineering and mathematics. **The Technology Teacher**. v. 66, n. 4, p. 24-26, 2007.

- FERREIRA, D. H. L.; BRUMATTI, R. N. Vantagens e dificuldades em trabalhar com problemas reais no ensino da matemática. In: VI Congresso Ibero-Americano de Educación Matemática. **Anais...** Universidade de Los Lagos, Chile, 2009.
- FREUND, J. E. **Estatística aplicada: economia, administração e contabilidade**, 11. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006.
- GROPPO, J. D.; MORAES, J. M.; BEDUSCHI, C. E.; MARTINELLI, L. A. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências**, v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.
- MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – 11; Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa – 2; **Anais...** Recife: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 27-32, 1995.
- MORTATTI, J.; BORTOLETTO JÚNIOR, M. J.; MILDE, L. C. E.; PROBST, J-L. Hidrologia dos rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 12, n. 23, p. 55-67, 2004.
- PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. L. Estatística apoiada pela tecnologia: uma proposta para identificar tendências climáticas. **Acta Scientiae**, v. 13, n. 1, p. 87-105, 2011.
- PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, London, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.
- RICHIT, A.; MALTEMPI, M. V. Desafios e possibilidades do trabalho com projetos e com tecnologias na Licenciatura em Matemática, **Zetetiké**, v. 18, n. 33, p. 15-41, 2010.
- SELLO, S. Time series forecasting: a nonlinear dynamics approach. **Astronomy and Astrophysics**, v. 377, p. 312-320, 2001. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/45067186_Solar_cycle_forecasting_A_nonlinear_dynamics_approach>. Acesso em: 21 jun. 2011.
- SKOVSMOSE, O. Desafios da reflexão em educação matemática crítica. Campinas: Editora Papyrus, 2008.
- SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d'observations**. Genève: Organisation Meteorologique Mondial, 1975. (OMM Note Technique, 143)
- SOUZA, C. T.; PETRÓ, C. S.; GESSINGER, R. M. Um estudo sobre evasão no ensino superior do Brasil nos últimos dez anos. In: II Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la Educación Superior. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS. Disponível em: <http://www.clabes2012-alfaguia.org.pa/ponencias/LT_1/ponencia_completa_44-.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2012.

APÊNDICE 1**Questionário**

Curso: _____

Série: _____ Período: _____ Idade: _____

- 1) Indique qual dos meios você mais usou para calcular a “reta de regressão” nas aulas de Estatística.
 - a. () *software Excel*
 - b. () *software R_project*
 - c. () *software EstatD+*
 - d. () calculadora programável
 - e. () calculadora comum
 - f. () não aprendi
- 2) Indique qual dos meios você mais usou para calcular o índice R^2 nas aulas de Estatística.
 - a. () *software Excel*
 - b. () *software R_project*
 - c. () *software EstatD+*
 - d. () calculadora programável
 - e. () calculadora comum
 - f. () não aprendi
- 3) Assinale os conteúdos estatísticos que você mais usou em outras disciplinas.
 - a. () medidas de tendência central (média, moda, mediana)
 - b. () separatrizes (decil, percentil)
 - c. () medidas de dispersão (variância, desvio padrão)
 - d. () análise de regressão (coeficiente de correlação linear, reta de regressão)
 - e. () intervalo de confiança
 - f. () nunca usei
- 4) Assinale os conteúdos estatísticos que você mais usou em aplicações extra-curriculares (no trabalho, por exemplo).
 - a. () medidas de tendência central (média, moda, mediana)
 - b. () separatrizes (decil, percentil)
 - c. () medidas de dispersão (variância, desvio padrão)
 - d. () análise de regressão (coeficiente de correlação linear, reta de regressão)
 - e. () intervalo de confiança
 - f. () nunca usei
- 5) Onde você acredita que os conteúdos estatísticos podem ser mais úteis?
 - a. () na resolução de tarefas escolares de outras disciplinas
 - b. () em aplicação em indústrias
 - c. () em pesquisas eleitorais
 - d. () na construção de censos
 - e. () na redução de dados experimentais
 - f. () não são úteis
- 6) Em qual(is) área(s) você mais viu aplicações de conteúdos estatísticos?
 - a. () matemática/física
 - b. () meio ambiente
 - c. () administração/economia
 - d. () computação
 - e. () engenharia
 - f. () nenhuma área
- 7) Em qual meio de comunicação você viu um maior número de aplicações envolvendo conteúdos estatísticos?
 - a. () jornal
 - b. () revista
 - c. () livro
 - d. () televisão
 - e. () documentário
 - f. () nunca vi
- 8) Assinale o principal motivo pelo qual você decidiu cursar essa disciplina optativa.
 - a. () por gostar de estatística
 - b. () por achar a estatística importante para a sua formação
 - c. () pela necessidade de completar carga horária do curso
 - d. () por curiosidade
 - e. () pelo interesse em estudos relacionados ao meio ambiente
 - f. () não sei

DADOS DOS AUTORES



Júlio César Penereiro Bacharel em Física pela Universidade Estadual de Campinas (1982), com o Mestrado (1987) e Doutorado (1993) em Astronomia pela Universidade de São Paulo. Atualmente, é professor titular e pesquisador da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, sendo líder do Grupo de Pesquisa em Modelagem Matemática. Atua em pesquisas no ensino de engenharia, matemática, física e astrofísica, além de ensino de ciências.



Denise H. L. Ferreira Bacharel em Matemática pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1981) e Tecnóloga em Saneamento pela Universidade Estadual de Campinas (1980). Mestre em Matemática Aplicada pela Universidade Estadual de Campinas (1986) e doutora em Educação Matemática pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2003). Atualmente, é professora titular da Pontifícia Universidade Católica de Campinas e membro do Grupo de Pesquisa em Modelagem Matemática. Atua na área de matemática aplicada e ensino.