

SISTEMA PARA ANÁLISE DE DADOS HIDROLÓGICOS – SiADH

Walszon Terllizzie Araújo Lopes^{1,2}; Gabriel Meldau Lemos¹; Luciana Roberto Sarmiento Silva¹; Maria Célia Alencar Machado da Silva¹; Rita de Cássia Cerqueira Condé de Piscoya¹; Alessandro de Oliveira Gomes³ & Andre Gomes dos Santos³*

Resumo – Todos os dados hidrometeorológicos observados (monitorados) necessitam de tratamentos e processamentos básicos para que os mesmos possam ser utilizados com confiabilidade. As incertezas envolvidas nos dados medidos de precipitação, evaporação, nível de rio (cotas), descargas líquidas e sólidas, parâmetros de qualidade de água, etc., muito raramente podem ser desprezadas sem passarem, pelo menos, por análises preliminares. Ferramentas computacionais que auxiliem a padronizar, sistematizar e facilitar as análises de dados hidrológicos são bastante úteis e devem ser prioritariamente utilizadas. O objetivo deste trabalho é apresentar as principais características do Sistema para Análise de Dados Hidrológicos (SiADH), sistema computacional desenvolvido pela Agência Nacional de Águas, que tem o objetivo de facilitar e padronizar as análises de consistência de dados fluviométricos.

Palavras-Chave – Análise de consistência de dados fluviométricos; Ferramentas computacionais.

COMPUTATIONAL SYSTEM FOR HYDROLOGICAL DATA ANALYSIS - SiADH

Abstract – All hydrometeorological observed (monitored) data require treatments and basic processing so that they can be considered reliable. The uncertainties involved in the measured data of precipitation, evaporation, river level (stage), river discharge, suspended sediment concentration, water quality parameters, etc., can be neglected very rarely without passing at least for preliminary analysis. Computational tools that help standardize, systematize and facilitate the analysis of hydrological data are very useful and should primarily be used. The objective of this paper is to present the main features of the Computational System for Hydrological Data Analyses (SiADH), computer system developed by the Brazilian National Water Agency that aims to facilitate and standardize the streamflow data analysis.

Keywords – Streamflow data analysis; Computational tools.

1. INTRODUÇÃO

Todos os dados hidrometeorológicos observados (monitorados) necessitam de tratamentos e processamentos básicos para que os mesmos possam ser utilizados com confiabilidade. As incertezas envolvidas nos dados medidos de precipitação, evaporação, nível de rio (cotas), descargas líquidas e sólidas, parâmetros de qualidade de água, etc., muito raramente, podem ser desprezadas sem passarem, pelo menos, por análises preliminares. Adicionalmente, dependendo da finalidade dos estudos que estejam sendo desenvolvidos com a utilização desses dados, mais análises e processamentos tornam-se necessários para diminuir, minimizar ou eliminar os possíveis

¹ Especialistas em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas – ANA. (walszon@ana.gov.br; gabriel.lemos@ana.gov.br; luciana.sarmiento@ana.gov.br; maria.silva@ana.gov.br; rita.piscoya@ana.gov.br).

² Professor do Instituto de Ensino Superior Planalto – IESPlan/DF, Dep. Eng. Civil. (walszon@yahoo.com).

³ Desenvolvedores de Sistemas, Poliedro. (alessandro.gomes@ana.gov.br; andre.gomes@ana.gov.br).

* Autor Correspondente.

erros existentes nas séries de dados coletados, aumentando a confiabilidade desses estudos e diminuindo os impactos negativos que as incertezas produziriam nos seus resultados.

A consistência de dados fluviométricos visa dispor de informações de boa qualidade, para atender a diversos estudos e projetos na área de recursos hídricos, sendo fundamentais em estudos relacionados a aproveitamentos hidrelétricos, à gestão dos recursos hídricos, ao planejamento e manejo integrados de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, pecuária, previsão hidrológica, entre outros estudos de grande importância científica e socioeconômica, bem como de impacto ambiental, fornecendo subsídios à efetiva implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997.

Ferramentas computacionais que auxiliem a padronizar, sistematizar e facilitar as análises de dados hidrológicos são bastante úteis e devem ser prioritariamente utilizadas.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é apresentar as principais características do Sistema para Análise de Dados Hidrológicos (SiADH), sistema computacional desenvolvido pela Agência Nacional de Águas, que tem o objetivo de facilitar e padronizar as análises de consistência de dados fluviométricos (ANA, 2011).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição Geral do Sistema

O Sistema para Análise de Dados Hidrológicos – SiADH é um aplicativo desenvolvido pela Agência Nacional de Águas – ANA na linguagem de programação Java 1.6 (J2EE). O sistema tem um alto nível de processamento e armazenamento de imagens em disco, utilizando intensamente os recursos do Java. A plataforma de desenvolvimento foi a IDE NetBeans 7.2 e as bibliotecas utilizadas foram JFreeChart, Apache POI, Driver JDBC-JTDS e Driver ODBC. Para o módulo de confecção de mapas, o sistema utiliza uma biblioteca Java de código aberto, a GeoTools, a qual fornece ferramentas para manipulação de dados geoespaciais. A principal funcionalidade do sistema é a exportação automática de vários gráficos e tabelas em formato de imagens (jpeg) diretamente numa pasta especificada num computador.

2.2. Principais Análises Implementadas no SiADH

O SiADH gera vários gráficos e tabelas referentes às análises de vazões e cotas que permitem ao usuário identificar inconsistências e possíveis incoerências nos dados hidrológicos armazenados em banco de dados no formato do Sistema para Gerenciamento de Dados Hidrológicos da ANA (Hidro 1.2). Os principais resultados gerados pelo SiADH estão apresentados na Tabela 1.

2.3. Principais Características do SiADH

Inicialmente, os arquivos de entrada do SiADH para geração automática dos gráficos e tabelas precisam ser elaborados. Tais arquivos de entrada representam o diagrama unifilar e permitem ao usuário do sistema, comparar dados de cotas e/ou vazões entre estações vizinhas.

Os arquivos de entrada, tanto para a análise de cotas quanto para a análise de vazões, devem ser elaborados levando em consideração os seguintes fatores:

- a) Os códigos das estações devem ser separados por ponto e vírgula (Ex: código da estação 1; código da estação 2; código da estação n).
- b) Cada grupo de estações deve estar numa linha diferente.
- c) Não há número máximo de linhas para cada arquivo.
- d) Uma mesma estação pode estar em mais de um grupo.

- e) Para o sistema interpretar corretamente as estações que devem ter suas vazões mensais somadas nas análises “Teste de Continuidade” e “Incrementais Mensais de Vazão”, após o código de cada estação envolvida na soma deve ser digitado o símbolo “+”.
- f) Para os resultados referentes a vazões (análises de n^{os} 401 e 408) e referentes a cotas (análises de n^{os} 101 a 105), a regra geral é gerar gráficos na escala anual. Porém, caso seja necessário gerar gráficos em outras escalas, deve-se utilizar, no início de cada linha, as letras M para escala mensal, T para escala trimestral e S para escala semestral, separados com código da primeira estação por ponto e vírgula.
- g) Caso seja necessário gerar gráficos em escala logarítmica, deve utilizar a letra L no início de cada linha, separados com código da primeira estação por ponto e vírgula.

Tabela 1. Principais resultados gerados pelo SiADH.

100-Cotas Médias Diárias Consolidadas Versus Tempo com Medições.	408-Vazões Específicas Médias Diárias Versus Tempo.
101-Cotas Médias Diárias Consolidadas Versus Tempo.	409-Vazões Específicas Médias Mensais Versus Tempo.
102-Cotas Médias Diárias Brutas Versus Tempo.	410-Vazões Específicas Máximas Mensais Versus Tempo.
103-Cotas Médias Diárias Consolidadas-Brutas Versus Tempo.	411-Vazões Específicas Mínimas Mensais Versus Tempo.
104-Cotas Duplas Brutas Versus Tempo.	412-Vazões Específicas Médias Anuais Versus Tempo.
105-Cotas Duplas-Médias B-C Versus Tempo.	413-Vazões Específicas Máximas Anuais Versus Tempo.
106-Diagrama de Dados.	414-Vazões Específicas Mínimas Anuais Versus Tempo.
107-Perfil Transversal.	415-Vazões Específicas Médias Anuais Versus Área de Drenagem.
108-Frequência de Cotas Abaixo da Mínima por Ano.	416-Vazões Específicas Diárias para Diversas Permanências Versus Área de Drenagem.
109-Frequência de Cotas Acima da Máxima por Ano.	417-Vazões Específicas Mensais para Diversas Permanências Versus Área de Drenagem.
110-Cotas Abaixo da Mínima-Período de Validade de Curva-chave.	418-Vazões Médias Mensais (Incremental Negativo – Incrementais Mensais).
111-Cotas Acima da Máxima-Período de Validade de Curva-chave.	419-Teste de Continuidade de Vazões Médias Mensais.
112-Cota Medição Versus Cota Observada.	420-Curvas de Permanência de Vazões Médias Diárias.
114-Planilha Excel para Análise de Dados de Cotas.	421-Curvas de Permanência de Vazões Médias Mensais.
115-Envoltórias de Cotas por Percentis.	422-Curvas de Permanência de Vazões Específicas Médias Diárias.
116-Cotas Médias Diárias Consolidadas e Percentis Versus Tempo.	423-Curvas de Permanência de Vazões Específicas Médias Mensais.
117-Cotas Médias Diárias Brutas e Percentis Versus Tempo.	424-Diagrama de Dados.
118-Cotas Médias Diárias Consolidadas-Brutas e Percentis Versus Tempo.	425-Planilha Excel para Análise de Dados de Vazões.
119-Permanência de Cotas.	426-Vazão Versus Produto Área Molhada e Velocidade Média.
400-Vazões Médias Diárias Versus Tempo com Medições.	450-Curva-Chave.
401-Vazões Médias Diárias Versus Tempo.	452-Pares Cota Vazão e Curva-Chave.
402-Vazões Médias Mensais Versus Tempo.	454-Permanência de Vazões.
403-Vazões Máximas Mensais Versus Tempo.	455-Envoltórias de Vazões por Percentis.
404-Vazões Mínimas Mensais Versus Tempo.	456-Vazões Médias Diárias Consolidadas e Percentis Versus Tempo.
405-Vazões Médias Anuais Versus Tempo.	457-Vazões Médias Diárias Bruto e Percentis Versus Tempo.
406-Vazões Máximas Anuais Versus Tempo.	458-Vazões Médias Diárias Consolidadas-Brutas e Percentis Versus Tempo.
407-Vazões Mínimas Anuais Versus Tempo.	

A ideia é possibilitar que o usuário selecione um arquivo previamente elaborado com os códigos das estações, separadas por grupos de análise, que se pretende utilizar para realizar a análise conjunta (global) de cotas e/ou vazões. Nesse sentido, deve-se evitar a comparação de mais de cinco estações em cada grupo de análise (linha), uma vez que os gráficos gerados (cotogramas, hidrogramas, etc.) provavelmente não facilitarão a análise, principalmente os cotogramas, tendo em vista que as referências de nível de estações fluviométricas são arbitrárias, sendo possível que estações de jusante tenham valores de cotas inferiores as de montante, o que normalmente não acontece quando se analisa hidrogramas, ou seja, normalmente os valores de vazão aumentam de montante para jusante.

Na montagem desses arquivos de entrada, devem ser consideradas todas as comparações possíveis entre estações fluviométricas que podem ressaltar alguma possível inconsistência entre os dados de vazão e/ou cotas consolidados. De maneira análoga, devem ser evitadas comparações que provavelmente não auxiliarão na análise de consistência realizada, tais como comparações entre estações localizadas em diferentes bacias, salvo em situações devidamente justificadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alguns exemplos de resultados gerados pelo SiADH estão apresentados na Figura 1. Tais exemplos de cotogramas, hidrogramas e gráficos de vazões específicas se referem ao ano de 1998 e às estações 12560000 (Serungal São Luiz), 12600001 (Tarauacá – Jusante) e 12680000 (Envirá),

todas localizadas no Rio Tarauacá, afluyente da margem direita do Rio Juruá, que por sua vez é afluyente do Rio Solimões. Contudo, todos os gráficos são gerados para todo o período correspondente às séries históricas das estações envolvidas, com base nos quais podem ser identificadas incoerências pontuais em determinados anos, meses ou dias para determinadas estações.

É importante registrar que algumas das análises entre os dados de estações precisam ser realizadas considerando o período comum de dados, como, por exemplo, as análises que envolvem cálculo de permanências, como as análises n^{os} 416 e 417; 420 a 423 explicitadas na Tabela 1. Para essas análises, os dados de determinado ano só são considerados, caso existam, no mínimo, 11 meses ou 330 dias de dados comuns entre as séries históricas das estações inseridas num mesmo grupo de análise. Tal medida visa evitar que as falhas que porventura existam em determinadas séries históricas de estações prejudiquem a interpretação de algum resultado gerado pelo SiADH.

As análises referentes a cotas (análises n^{os} 100 a 105) objetivam facilitar a eliminação de erros grosseiros. Sempre que possível, devem ser analisados conjuntamente os cotogramas de estações localizadas em um mesmo rio, pois estes devem apresentar comportamento semelhante, sendo refletidas as flutuações observadas na estação de montante, também na estação de jusante, desde que os perfis transversais sejam compatíveis e guardadas as devidas proporções (análise n^o 107). Devem ser consideradas a forma dos cotogramas das estações, a proporção entre valores e a defasagem no tempo. Incoerências mais sutis devem ser tratadas na comparação de hidrogramas (análises n^{os} 400 a 414), devido ao seu significado físico, pois a água que passa na estação de montante deve passar na estação de jusante, salvo situações excepcionais de extravasamento, retenção, barramento e/ou falhas geológicas. Em alguns casos, as seguintes falhas podem ser identificadas já na análise dos cotogramas: falsas leituras do observador, erros de cópia, erro de metro, erro de complemento e leitura errônea de cotas negativas.

Nas análises referentes a cotas (análises n^{os} 100 a 105) devem ser acompanhadas de análise dos boletins que podem indicar leituras ilegíveis, mudança de caligrafia ou do próprio observador, preenchimento incorreto das leituras de acordo com os dias do mês, preenchimento incorreto do cabeçalho (código, nome, mês e ano), além das próprias anotações do observador (desnívelamento de régua, atos de vandalismo, reinstalação feita pelo próprio observador, régua coberta, caída, “seca”, etc.). Ainda em relação às análises de cotas, os resultados do SiADH de n^{os} 115 a 119 são bastantes úteis, inclusive, nas situações onde não é possível a comparação direta de cotogramas entre estações, como por exemplo, em situações onde só existe uma única estação do rio. Com base nessas análises (n^{os} 115 a 119), os dados de cotas de determinados anos podem ser comparados com os dados de cotas referentes a determinadas permanências calculadas (10%, 50% e 90%) com base nos dados da própria estação. Exemplo desse tipo de gráfico está apresentado na Figura 1b.

Nas análises referentes a hidrogramas (análises n^{os} 400 a 414), deve-se verificar a coerência entre os hidrogramas de estações localizadas em um mesmo rio, de forma que as perturbações observadas na estação de montante repercutam também na estação de jusante. Na análise de hidrogramas devem ser consideradas as formas dos hidrogramas da estação analisada e das estações de apoio, a proporção entre valores e a defasagem no tempo. Adicionalmente, espera-se que as vazões a jusante sejam sempre superiores, pois toda água que passou a montante deve passar ali, salvo nas situações específicas (extravasamento, barramento, falhas geológicas, etc.), acrescentada a contribuição resultante das precipitações e do escoamento de base na área incremental entre elas. Não havendo outras estações para comparação, podem ser investigados os trechos que fujam do padrão apresentado pela estação ao longo do tempo.

Os hidrogramas e estatísticas (médias, permanências, etc.) relacionadas a vazões específicas são apresentados nas análises n^{os} 408 a 417. Na análise de tais resultados deve ser considerado que,

normalmente, a vazão específica diminui com o aumento da área de drenagem, uma vez que em estações que possuem menores áreas de drenagem, espera-se que haja maior declividade média da área delimitada pela estação, assim como se espera que haja maiores valores da precipitação média anual e de longo período, uma vez que a estação estaria localizada em áreas de maiores altitudes. Todavia, deve-se ter em mente que tal comportamento nem sempre é verificado, tendo em vista as heterogeneidades das características físicas e climáticas (relevo, vegetação, solo, geologia, hidrografia, precipitações, etc.) das áreas delimitadas pelas estações cujos dados de vazão estão sendo comparados. Assim como no caso de cotas, em situações onde só seja possível a análise individual da estação, os resultados n^{os} 454 a 458 referentes a permanências de vazões devem ser analisados.

Nas análises n^{os} 418 e 419 são comparados os valores de vazões médias mensais entre estações. Nessas análises podem ser identificados possíveis erros grosseiros, uma vez que normalmente a vazão média mensal em um mesmo curso d'água aumenta de montante para jusante, não assumindo, portanto, valores negativos de incrementais mensais de vazão. Na análise n^o 418, os resultados mostram os valores de vazões médias mensais das estações envolvidas, sempre considerando o período comum de dados. São calculadas as diferenças entre os valores das vazões médias mensais, tanto em valores absolutos quanto em percentuais. Os valores com possíveis incoerências são destacados em vermelho (Figura 2a). Na análise n^o 419, tais valores de vazões médias mensais são apresentados na forma gráfica, onde podem ser observados valores que não se apresentem de acordo com a tendência geral mostrada pela maioria dos pontos plotados, o que pode indicar uma possível inconsistência no respectivo dado mensal (Figura 2b).

Ainda em relação à análise de vazões, as curvas de permanências apresentadas nos resultados do SiADH de n^{os} 420 a 423 devem ser observadas (Figura 2c). Obviamente, o comportamento natural inverso das vazões e das vazões específicas (Figura 2d) das estações deve ser normalmente observado. Baseado nessas análises, também pode ser verificada a necessidade de revisão dos ramos inferior ou superior das curvas-chave traçadas para as estações envolvidas. As análises n^{os} 415 a 417 (Figura 2e) também são úteis para indicar possível necessidade de revisão das curvas-chave traçadas.

As análises n^o 112 (Cota Medição Versus Cota Observada) e n^o 426 (Vazão Versus Produto Área Molhada e Velocidade Média) servem para indicar a compatibilidade entre os dados armazenados no banco indicados pelo próprio nome das análises (Figura 2f).

Um dos principais resultados gerados pelo SiADH refere-se às análises de curvas-chave (análises n^{os} 108 a 112, n^o 426, 450 e 452). Na análise e traçado de curvas-chave (Rantz, 1982; Jacon e Cudo, 1989), a ANA normalmente utiliza os seguintes critérios: a) distribuição uniforme dos desvios nos gráficos de desvio versus cota, o que indicaria igual distribuição de pontos nos dois lados da curva (Figura 1c); b) distribuição uniforme dos desvios nos gráficos de desvio versus tempo e c) análise visual das curvas-chave traçadas (Figura 1f), verificando suas compatibilidades entre si. Na análise n^o 450 são apresentados gráficos de curva-chave (em escala normal e escala bilogarítmica), de desvios versus cota e de desvios versus tempo para todas as curvas-chave traçadas para determina estação, tanto individualmente como em conjunto, ou seja, para todo o período de observação de dados de vazão na estação. Em tais gráficos são apresentadas informações básicas cadastrais de cada estação (código e nome da estação, rio onde a mesma está localizada, entidades responsável e operadora da estação) e outras informações que servem para avaliação da própria curva-chave traçada: desvio absoluto médio percentual, quantidade de medições acima e abaixo de cada curva, tanto em valores absolutos como em percentuais.

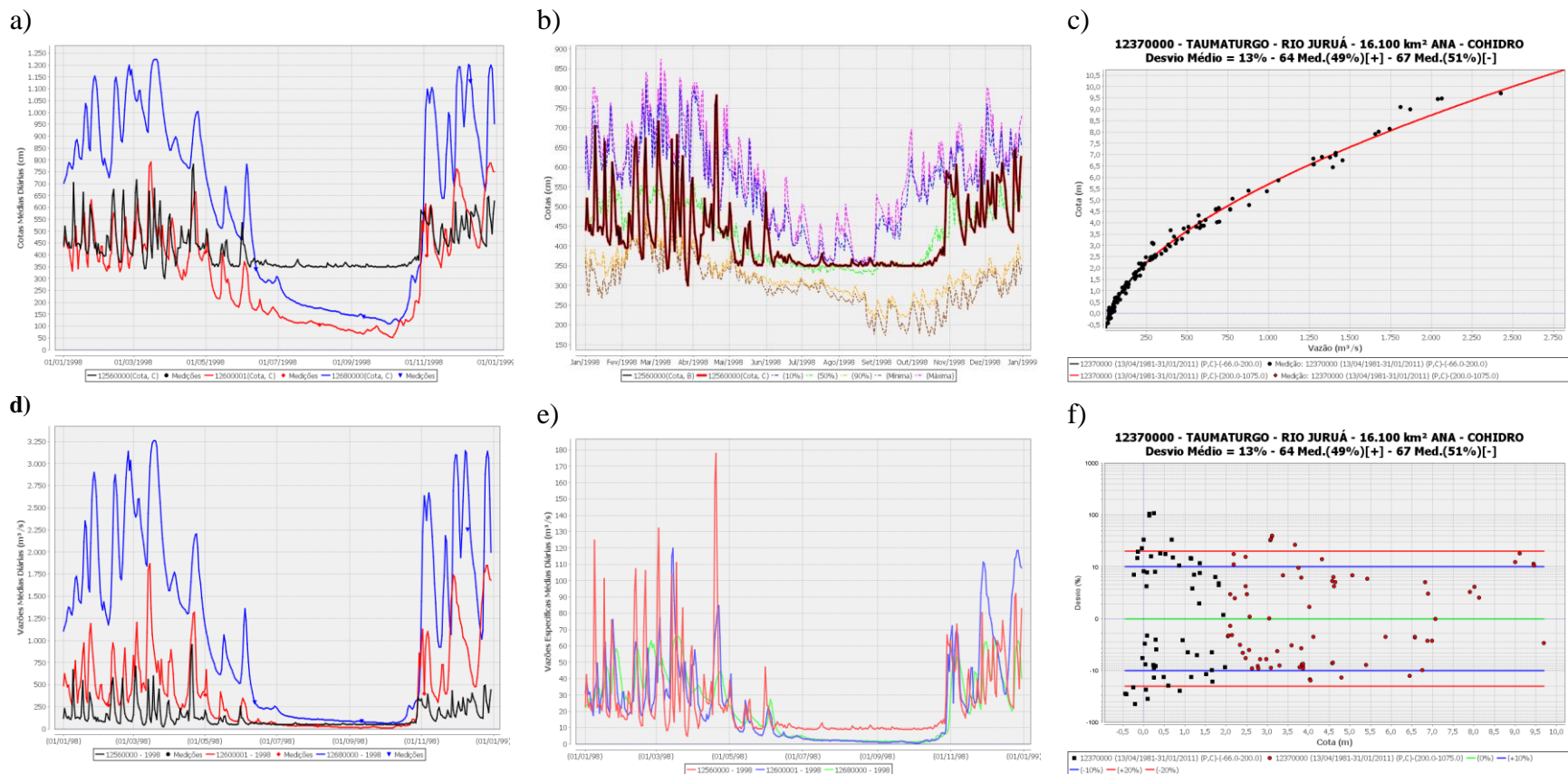


Figura 1. Exemplos de resultados gerados pelo SiADH: a) 100-Cotas Médias Diárias Consolidadas Versus Tempo com Medições; b) 118-Cotas Médias Diárias Consolidadas-Brutas e Percentis Versus Tempo; c) 119-Permanência de Cotas; d) 400-Vazões Médias Diárias Versus Tempo com Medições; e) 408-Vazões Específicas Médias Diárias Versus Tempo; f) 416-Vazões Específicas Diárias para Diversas Permanências Versus Área de Drenagem.

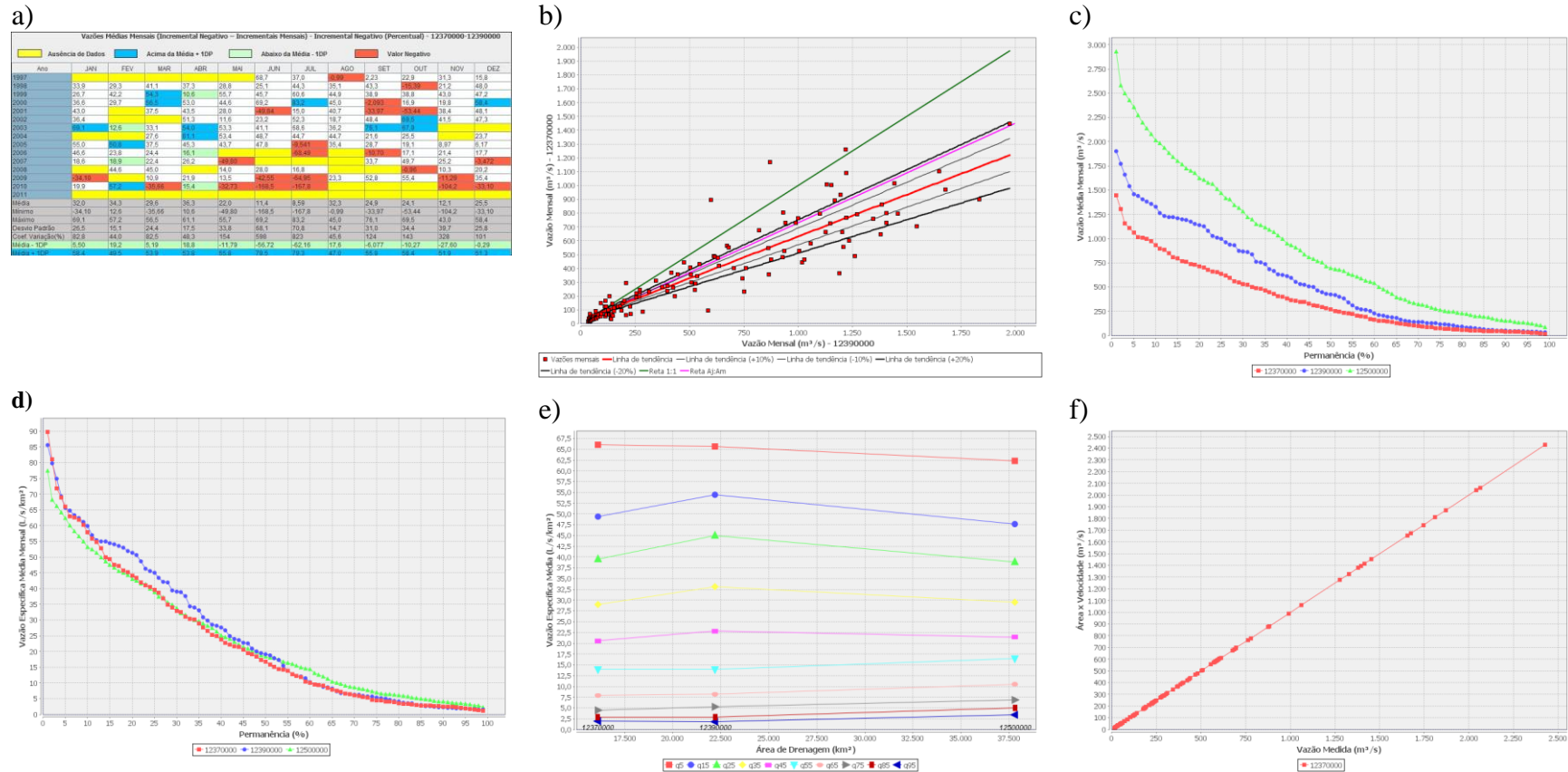


Figura 2. Exemplos de resultados gerados pelo SiADH: a) 418-Vazões Médias Mensais (Incremental Negativo – Incrementais Mensais); b) 419-Teste de Continuidade de Vazões Médias Mensais; c) 421-Curvas de Permanência de Vazões Médias Mensais; d) 423-Curvas de Permanência de Vazões Específicas Médias Mensais; e) 417-Vazões Específicas Mensais para Diversas Permanências Versus Área de Drenagem; f) 426-Vazão Versus Produto Área Molhada e Velocidade Média.

Normalmente, procura-se traçar curvas-chave médias que dividiriam a quantidade de pontos (medições de vazão) em partes iguais, ou seja, 50% dos pontos localizados abaixo e acima da curva-chave média traçada, o que nem sempre é possível. Na análise nº 452 são apresentados gráficos que servem para indicar a compatibilidade entre as curvas-chave traçadas e os pares de dados de cotas e vazões, ou seja, de posse de tais gráficos pode ser verificado se as vazões armazenadas no banco de dados em questão foram geradas a partir da curva-chave e das cotas armazenadas no mesmo banco.

Ainda em relação à análise de curvas-chave e seu impacto nos dados de vazões gerados, há as análises nºs 108 a 111, as quais podem indicar em quais anos se espera que haja alguma inconsistência entre os dados de vazões das estações envolvidas, tendo em vista a frequência de cotas acima (ou abaixo) da máxima (ou da mínima) cota medida, tanto por ano quanto por período de validade de cada curva-chave. Os resultados nºs 106 e 424 se referem a diagramas de dados disponíveis de cotas e vazões armazenados no banco para cada grupo de estações explicitadas nos arquivos de entrada do SiADH. Por fim, os resultados nºs 114 e 425 se referem a planilhas Excel para análise de dados de cotas e vazões, no formato de colunas, para que seja facilitada a etapa de preenchimento de falhas.

4. CONCLUSÕES

As principais conclusões advindas deste trabalho são:

- a) Ferramentas computacionais que auxiliem a padronizar, sistematizar e facilitar as análises de dados hidrológicos são bastante úteis e devem ser prioritariamente utilizadas.
- b) Na montagem dos arquivos de entrada do SiADH devem ser consideradas todas as comparações possíveis entre estações fluviométricas que podem ressaltar alguma possível inconsistência entre os dados de vazão e/ou cotas consolidados. De maneira análoga, devem ser evitadas comparações que provavelmente não auxiliarão na análise de consistência realizada, tais como comparações entre estações localizadas em diferentes bacias, salvo em situações devidamente justificadas.
- c) Um dos principais resultados gerados pelo SiADH refere-se às análises de curvas-chave. Na análise e traçado de curvas-chave devem ser observados, principalmente, os seguintes fatores: distribuição uniforme dos desvios nos gráficos de desvio versus cota e de desvios versus tempo e bom ajuste verificado pela análise visual das curvas-chave traçadas, verificando suas compatibilidades entre si.

5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2011). **Diretrizes e análises recomendadas para a consistência de dados fluviométricos**. Brasília: ANA. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/Diretrizes_Analises_Recomendadas_Consistencia_de_Dados_Fluviometricos.pdf. Acesso em: 23 ago. 2011.

JACCON, G.; CUDO, K.J. (1989) **Curva-chave**. Análise e traçado. Brasília: [s.n.].

RANTZ, S.E. (1982) **Measurement and computation of streamflow**: volume 2, computation of discharge. [S.l.]: U.S. Government Printing Office. (Water supply paper series, 2175). Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2175/>. Acesso em: 23 ago. 2011.