



## XI-354 - AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

### Vagner Gerhardt Mâncio<sup>(1)</sup>

Engenheira de Controle e Automação pela Universidade Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Diretor de Normatização da Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento do Rio Grande do Sul (AGESAN-RS). Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

### Demétrius Jung Gonzalez<sup>(2)</sup>

Arquiteto e Urbanista pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Especialista em Direito Urbano e Ambiental pela Fundação Escola Superior do Ministério Público (FMP). Mestre em Arquitetura Profissional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutor em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Diretor Geral da Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento do Rio Grande do Sul (AGESAN-RS).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Félix da Cunha, 1009, sala 802 - Floresta – Porto Alegre - RS - CEP: 90570-001 - Brasil - Tel: (51) 99966-1310 - e-mail: [diretorianormatizacao@agesan-rs.com.br](mailto:diretorianormatizacao@agesan-rs.com.br)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Rua Félix da Cunha, 1009, sala 802 - Floresta – Porto Alegre - RS - CEP: 90570-001 - Brasil - Tel: (51) 99966-1310 - e-mail: [diretoriageral@agesan-rs.com.br](mailto:diretoriageral@agesan-rs.com.br)

### RESUMO

As perdas de água nos sistemas de abastecimento em nível nacional estão sendo muito debatido, muitas técnicas, métodos e tecnologias estão sendo apresentadas em diversos ambientes institucionais. A AGESAN-RS pioneira na instituição de normativa para o controle e redução de perdas de água elaborou este estudo para fomentar a gestão dos prestadores de serviço quanto suas variabilidades do processo. Assim, utilizou-se o controle estatístico de processo – CEP, técnica amplamente utilizada em manufaturas com o objetivo de verificar a estabilidade do processo, na qual se utiliza ferramentas da qualidade total. O CEP aplicado no controle de perdas de água pela agência reguladora, estimulará na abertura de não conformidades aos prestadores de serviço, fomentando a aplicação de planos de ações para solucionar as variabilidades indesejadas do processo. O indicador utilizado foi em litros por ligação ao dia (l/lig.dia), pois apresenta-se melhor perceptível ao tamanho do sistema. Desta forma, este estudo pretende apresentar a metodologia utilizada na avaliação dos municípios, assim como resultado práticos a serem analisados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fiscalização, regulação, perdas de água, estatística.

### INTRODUÇÃO

O Programa de Redução de Perdas no abastecimento de água foi instituído pela Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento do Rio Grande do Sul – AGESAN-RS com objetivo auxiliar os prestadores de serviços a melhorar suas eficiências no sistema de abastecimento de água, referentes às perdas existentes e, com isso, trazer aos usuários tarifas mais justas e garantir ao detentor do serviço a qualidade exigida.

Além disso, o programa contribuirá para atender as novas definições da Lei Federal nº 14.026/2020, que alterou o texto da Lei Federal nº 11.445/2007, na qual, define atendimento do Decreto Federal n. 10.588/2020 que estabelece a alocação de recursos públicos federais e os financiamentos com recursos da União, com o atendimento de metas estabelecidas na Portaria n. 490 do Ministério do Desenvolvimento Regional (AGESAN-RS, 2021).

O conceito do programa é buscar uma evolução gradativa dos indicadores de perdas, respeitando cronogramas estabelecidos e desenvolvendo resoluções que sirvam de pilares desse processo. Dessa forma, percebe-se a



existência de diversos mecanismos legislativos que especificam o dever do prestador de serviço em buscar sua eficiência com relação às perdas de água, porém não está estabelecido o mecanismo de auxiliar a melhor performance do desempenho (AGESAN-RS, 2021).

Portanto, agência reguladora estabelece as diretrizes e verifica os resultados alcançados pelo prestador de serviço, por meio do monitoramento mensal de informações e da exigência dos planos de atuação a combater as perdas de água. Todas estas definições são realizadas por meio da Resolução CSR nº 005/2021, na qual instituiu o PRP pela AGESAN-RS.

Contribuindo para o estudo, verificou-se nas obras de Filho (2016) e Manzi (2020) apresentam o Sistema Nacional de Informações do Saneamento – SNIS como fonte de indicadores para perdas nos sistemas de abastecimento de água, destacando os seguintes indicadores: índice de perdas na distribuição (%), índice bruto de perdas lineares ( $\text{m}^3/\text{km}.\text{dia}$ ) e índice de perdas por ligação ( $\text{l}/\text{lig}.\text{dia}$ ).

Os autores, também, citam o indicador que relaciona um volume anual de perdas reais (*Current Annual Real Losses ou CARL*) com as perdas inevitáveis (*UARL*), denominado *Infrastructure Leakage Index – ILI*. Assim, por conceito, um sistema não deve apresentar perdas reais inferiores às inevitáveis, ou seja, ILI sempre deve ser maior ou igual a 1.

O SNIS apresenta em seu diagnóstico temático dos serviços de água e de esgoto, os indicadores de índice de perdas na distribuição (IN049) e o índice de perdas por ligação (IN051) como seus principais indicadores para ilustrar o comportamento em níveis nacional, estadual e municipal” (SNIS, 2022). O IN051 “tem maior relação com a eficiência operacional, porque a maior parte das perdas reais e aparentes de longa duração ocorrem em ramais de distribuição” (SNIS, 2022, pág. 38).

Além disso, é esse indicador que sinaliza os principais resultados encontrados, como o volume perdido por ligação de 333,9 litros/ dia. “Nas macrorregiões, os índices de perdas por ligação variam de 250,6  $\text{l}/\text{lig}.\text{dia}$ , na Centro-Oeste, a 601,8  $\text{l}/\text{lig}.\text{dia}$ , na Norte. Na abrangência do serviço, o menor índice é o da prestação Microrregional, com 280,3  $\text{l}/\text{lig}.\text{dia}$ , e o maior, da Local de direito público, com 352,3  $\text{l}/\text{lig}.\text{dia}$ ” (SNIS, 2022, pág. 38).

Para Davis *et al.* (2001) CEP é um método quantitativo para monitorar um processo repetitivo, a fim de determinar se um dado processo está operando adequadamente. O CEP utiliza coletas de dados de processo em tempo real e compara as medições atuais com os parâmetros básicos de desempenho do processo.

Assim, aplica-se técnicas estatísticas simples, similares ao teste de inferência estatística. Ademais, o método permite no gerenciamento e operação distinguir entre as flutuações aleatórias inerentes ao processo e às variações que podem indicar que o processo se modificou.

A obra de Montgomery & Runger (2007) foi utilizada para realizar a análise do comportamento das perdas de água nos sistemas. Assim, apresentaremos alguns conceitos para balizamento das informações. Inicialmente, o controle estatístico da qualidade pode ser largamente definido como aqueles métodos estatísticos e de engenharia que são usados na medida, na monitorização, no controle e na melhoria da qualidade.

Dessa forma, desenvolveu-se o controle estatístico de processo – CEP, que é uma ferramenta capaz de encontrar a estabilidade de um processo e para reduzir suas variabilidades.

O CEP é uma disposição gráfica de uma característica, que foi medida ou calculada a partir de uma amostra contra o número da amostra ou tempo, conforme figura 1 (SC, 2022). O gráfico contém uma linha central – LC, que representa o valor médio e duas linhas horizontais, chamadas de limite superior de controle – LSC e limite inferior de controle – LIC.

Em geral, desde que os pontos estejam plotados dentro dos limites de controle, o processo é considerado sob controle e nenhuma ação seria necessária. Entretanto, caso um ponto esteja fora dos limites de controle, considera-se uma necessidade de investigação e ação corretiva para encontrar e eliminar a possível causa atribuída a essa ocorrência típica. Os pontos da amostra no gráfico de controle são geralmente conectados com segmentos de linha reta.



A conexão entre o gráfico de controle e testes de hipóteses é forte. Um ponto situado dentro dos limites de controle é equivalente a falhar em rejeitar a hipótese de controle estatístico, e um ponto situado fora, a rejeitar a hipótese. Assim, um modelo para o gráfico do CEP pode ser definido. O  $W$  é definido em função de uma amostra estatística  $W$ . Logo,  $\mu_w$  é a média de  $W$  e  $\sigma_w$  é o desvio-padrão de  $W$ , consequentemente os LC, LSC e LIC são:

- $LSC = \mu_w + k \cdot \sigma_w$
- $LC = \mu_w$
- $LIC = \mu_w - k \cdot \sigma_w$



Figura 1 – Controle estatístico de processo

Montgomery & Runger (2007) definem que o valor de  $k$  expressa a unidades de desvio-padrão, sendo utilizado  $k$  igual a 3. Montgomery & Runger (2007) acrescentam as regras para definição do processo sem controle são:

1. Um ponto fora dos limites de 3 sigmas;
2. Dois pontos consecutivos caírem além do limite de 2 sigmas;
3. Quatro de cinco pontos consecutivos a um distância de 1 sigma da LC;
4. Oito pontos consecutivos em um lado da LC.

Na prática, essas regras são muito efetivas para aumentar a sensibilidade dos gráficos de controle. As regras 2 e 3 se aplicam a um lado da LC de cada vez. Ou seja, um ponto acima do limite superior de 2 sigmas, seguindo imediatamente por um ponto abaixo do limite inferior de 2 sigmas não sinalizariam um alarme de fora de controle. A Figura 2 apresenta o CEP com suas linhas de controles para todos os 3 sigmas, na qual ocorrem as zonas a, b e c entre elas (QPCT, 2022).

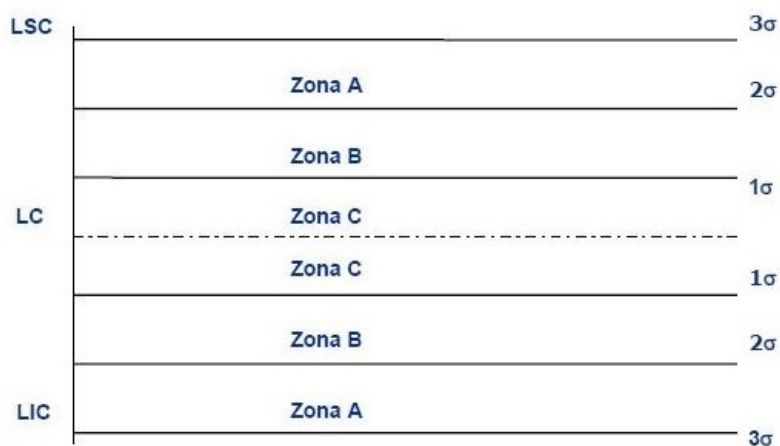


Figura 2 – CEP com as linhas de controle LC, LSC e LIS.



Dekking *et al.* (2005) apresentam aleatoriedade de uma distribuição  $N(\mu, \sigma^2)$  abrindo a discussão para a distribuição  $t$ . Forsyth (2018) afirma o procedimento de cálculo da fração de amostras que daria um valor absoluto menor de  $t$  do que aquela que observávamos se a hipótese fosse verdadeira. Tais referenciais dão maior aprofundamento ao tema.

## OBJETIVOS

Este trabalho irá apresentar uma abordagem de avaliação do desempenho das perdas de água na rede de distribuição por meio do Controle Estatístico de Processo – CEP, na qual serão sinalizadas técnicas de avaliação e propondo alternativas de resolução dos problemas identificados.

O Programa de Redução de Perdas de Água da AGESAN-RS foi instituído em agosto de 2021 para todos seus municípios regulados. O programa exige do prestador de serviços informações mensais sobre os sistema de abastecimento de água, tais como: volumes captado, tratado e consumido de água, quantidade de ligações, volumes de água tratada importada e exportada, dentre outros. Também, exige que os prestadores de serviços apresentem plano anuais sobre a instalação de macromedidores, substituição de hidrômetros, controle e redução de pressões, pesquisa e reparo de vazamentos e substituição de redes.

O método proposto neste artigo verificará a eficiência dos planos entregues pela desempenho apresentado no CEP. Possibilitando que a agência utilize os dados quantitativos do CEP para gerar ações de soluções do problemas. Assim, gera o processo de melhoria continua para as perdas de água do sistema.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A figura 3 apresenta o fluxograma de execução da metodologia junto ao prestador de serviço.

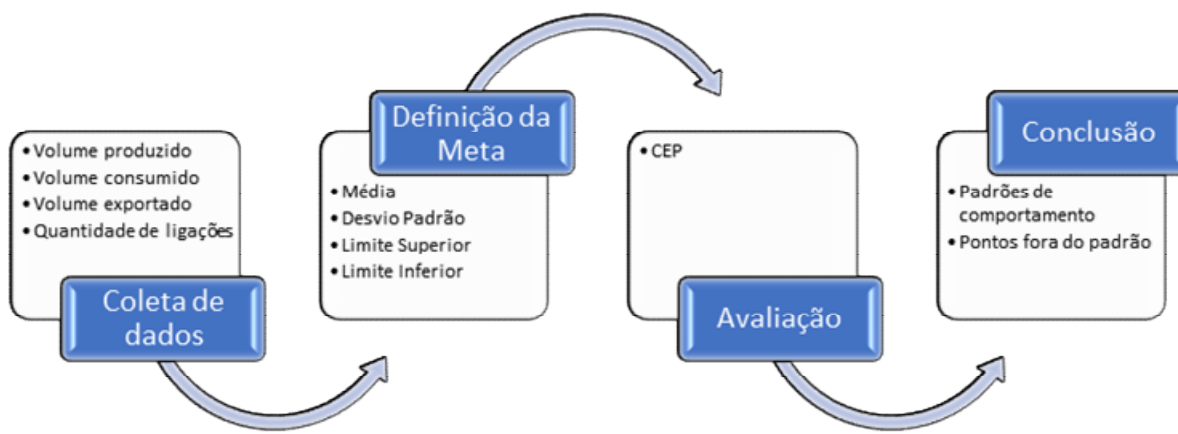


Figura 3 – CEP com as linhas de controle LC, LSC e LIS.

A coleta de dados foi realizada mensalmente pela AGESAN-RS, por meio de sua Resolução CSR nº 005/2021 (AGESAN-RS). As informações solicitadas nesta resolução estão relacionadas com o controle e redução de perdas de água do prestador de serviço, na qual utilizar-se-á, para o cálculo das perdas média diária por ligação (l/lig.dia), as seguintes informações: volumes de água tratada, de água tratada exportada, de água tratada importada, de água consumida e quantidade de ligações ativas.

A definição da meta utilizará a análise de 12 meses de resultados das perdas por ligação, devido o envio das informações à agência terem iniciado em julho de 2022. Serão calculados a média e o desvio padrão com o objetivo de estabelecer a linha central, a linha superior de controle – LSC e a linha inferior de controle – LIC, utilizando o sigma 3. Também, serão calculadas as linhas intermediárias com sigma 1 e 2, para avaliar as zonas A, B e C (figura 2).



A avaliação dos resultados verificará 6 meses de resultados de perdas, posteriores ao período base de cálculo da meta, recalculando o LC, LSC e LIC. O recálculo se faz necessário, pois a avaliação da amplitude entre LSC e LIC, verificar a existência de *outliers*, analisar modificação da variabilidade, dentre outros aspectos. Assim, o CEP único será desenvolvido para o período base de 12 meses e o período dos resultados de 6 meses, permitindo uma avaliação visual das características dos comportamentos. A comparação entre as médias será realizada para verificar as diferenças significativas, por meio do teste *t-student* para duas amostras presumidas equivalentes. Os pontos dos resultados que ultrapassarem os LSC e LIC deverão ser observados. Os padrões de comportamento também deverão ser analisados.

A conclusão tem o objetivo de identificar os comportamentos dos resultados de perdas de água em relação ao período base da meta, percebendo as seguintes situações: média dos resultados diferente do período base, resultado específico muito diferente dos demais, comportamentos não aleatórios, vários sistemas de abastecimento com a mesma característica de comportamento, etc.

## RESULTADOS OBTIDOS

O estudo abordou a análise das perdas de água por ligação em 5 sistemas de abastecimento, denominados A, B, C, D e E, aplicando a metodologia apresentada. As figuras 4, 5, 6, 7 e 8 apresentam 12 meses do período base de avaliação com sua respectiva média e os 6 meses dos resultados alcançados.

Na figura 4 observa-se que o LC dos resultados (400,8 l/lig.dia) elevou-se em relação a média do período base (307,8 l/lig.dia). Ainda se verifica que apenas 2 resultados estão entre o LSC e o LIC do período base. A confirmação da “diferença” das médias foi vista por meio do teste *t-student* para as duas amostras presumindo variância equivalentes, na qual o valor-p unicaudal (0,0059) é inferior a  $\alpha$  (0,05). Outros fatores importantes são os resultados de set/22 (307 l/lig.dia) e o de out/22 (522 l/lig.dia) que ultrapassam os limites de controle LSC e LIC dos resultados, demonstrando que o novo perfil de comportamento ainda não apresenta estabilidade no processo.

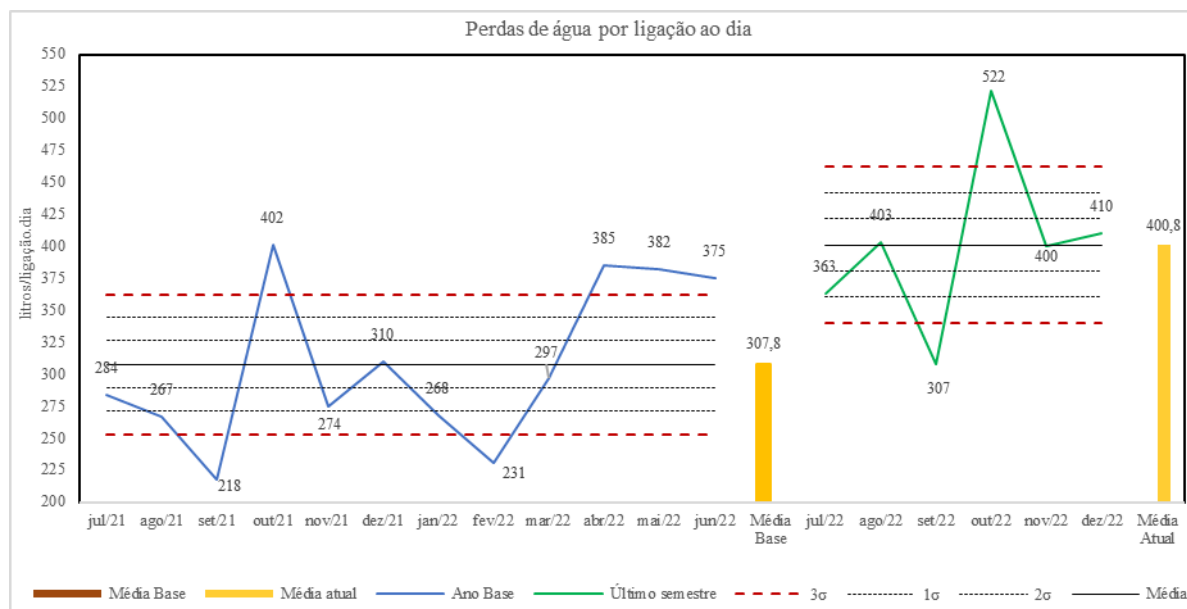


Figura 4 – CEP do sistema de abastecimento de água “A”

A figura 5 observa-se o LC dos resultados (123,6 l/lig.dia) elevou-se em relação à média do período base (118,4 l/lig.dia). Ainda se verifica que apenas 2 resultados excederam o LSC e o LIC do período base. Entretanto, a confirmação da “igualdade” das médias foi vista por meio do teste *t-student* para duas amostras presumindo variância equivalentes, na qual o valor-p unicaudal (0,3969) é superior a  $\alpha$  (0,05). Outros fatores



importantes são os resultados de set/22 (47 l/lig.dia) e o de out/22 (158 l/lig.dia) que ultrapassam os limites de controle LSC e LIC, demonstrando menor variabilidade no processo.

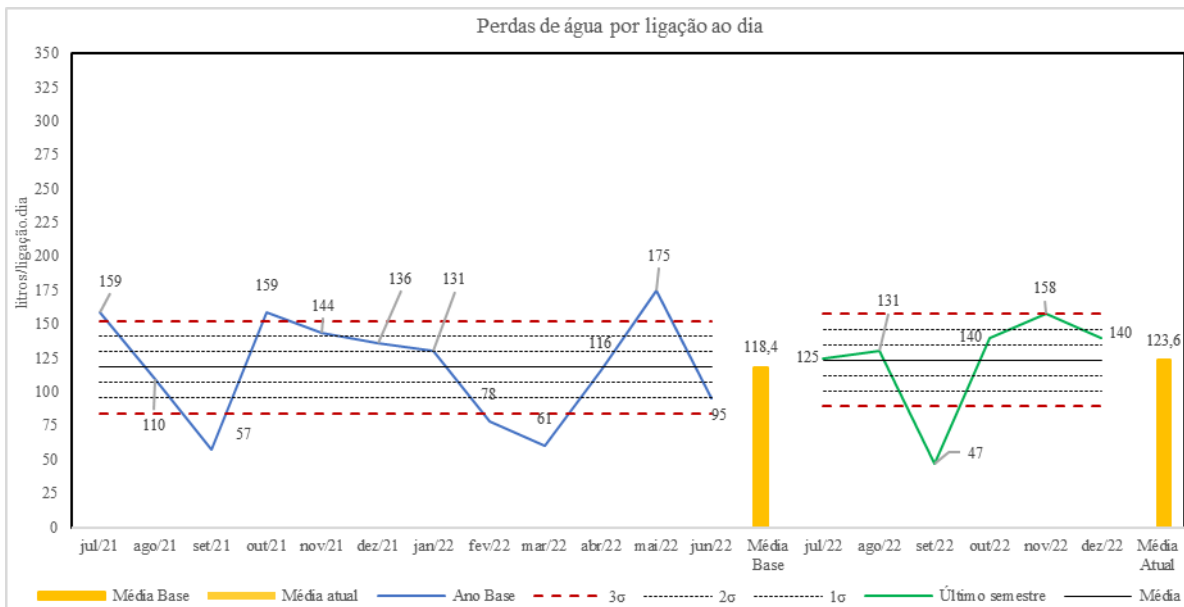


Figura 5 – CEP do sistema de abastecimento de água “B”

A figura 6 observa-se a média dos resultados (363,7 l/lig.dia) elevou-se em relação à média do período base (319,3 l/lig.dia). Ainda se verifica que apenas 1 resultado está entre o LSC e o LIC do período base. A confirmação da “diferença” das médias foi vista por meio do teste *t-student* para duas amostras presumindo variância equivalentes, na qual o valor-p unicaudal (0,0034) é inferior a  $\alpha$  (0,05). Outros fatores importantes são os resultados de set/22 (321 l/lig.dia) e o de out/22 (389 l/lig.dia) que ultrapassam os limites de controle LSC e LIC, demonstrando que o novo perfil de comportamento ainda não apresenta estabilidade no processo.

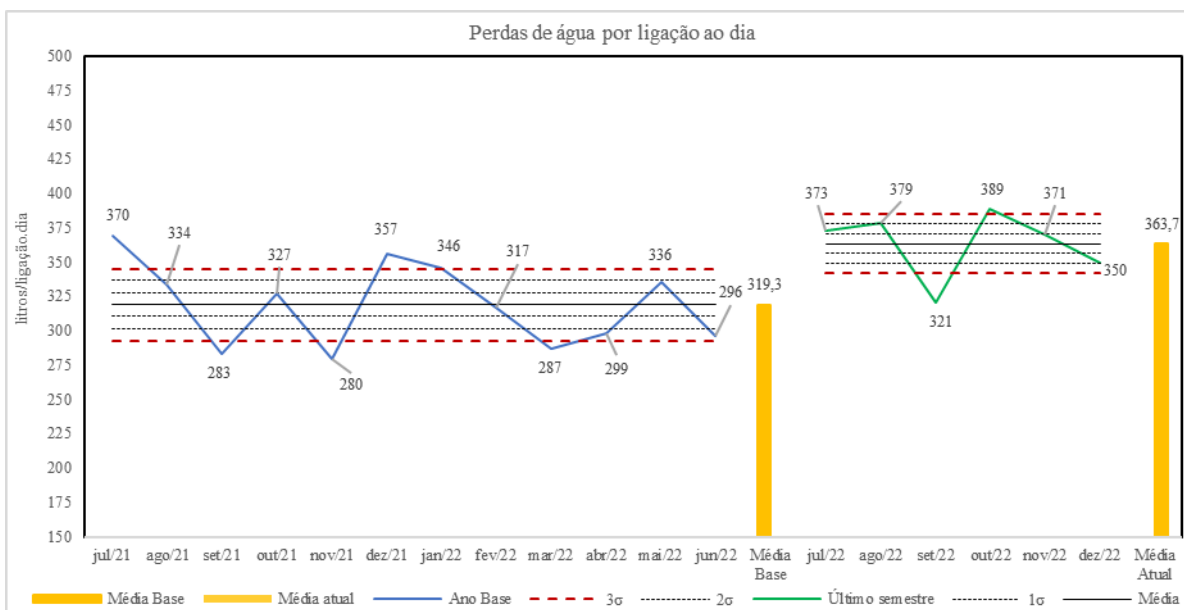


Figura 6 – CEP do sistema de abastecimento de água “C”

A figura 7 observa-se a média dos resultados (122,0 l/lig.dia) diminuiu em relação à média do período base (129,1 l/lig.dia). Ainda se verifica que apenas 3 resultados excederam o LSC e o LIC do período base. Entretanto, a confirmação da “igualdade” das médias foi vista por meio do teste *t-student* para duas amostras



presumindo variância equivalentes, na qual o valor-p unicaudal (0,1718) é superior a  $\alpha$  (0,05). Outros fatores importantes são os resultados de ago/22 (144 l/lig.dia) e o de set/22 (87 l/lig.dia) que ultrapassam os limites de controle LSC e LIC, demonstrando que o novo perfil de comportamento ainda apresentou maior estabilidade no processo.

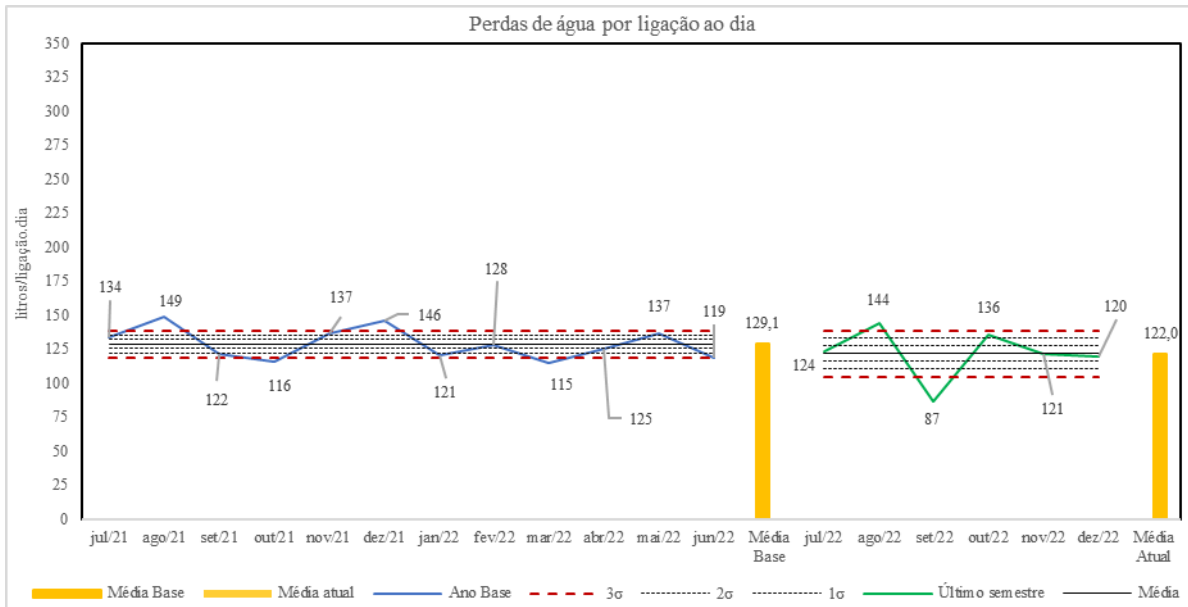


Figura 7 – CEP do sistema de abastecimento de água “D”

A figura 8 observa-se a média dos resultados (272,1 l/lig.dia) diminuiu em relação à média do período base (313,0 l/lig.dia). Ainda se verifica que apenas 3 resultados excederam o LSC e o LIC do período base. A confirmação da “diferença” das médias foi vista por meio do teste *t-student* para duas amostras presumindo variância equivalentes, na qual o valor-p uni-caudal (0,0225) é inferior a  $\alpha$  (0,05). Outros fatores importantes são os resultados de ago/22 (311 l/lig.dia) e o de set/22 (226 l/lig.dia) que ultrapassam os limites de controle LSC e LIC, demonstrando que o novo perfil de comportamento se apresenta em evolução na redução das perdas de água.

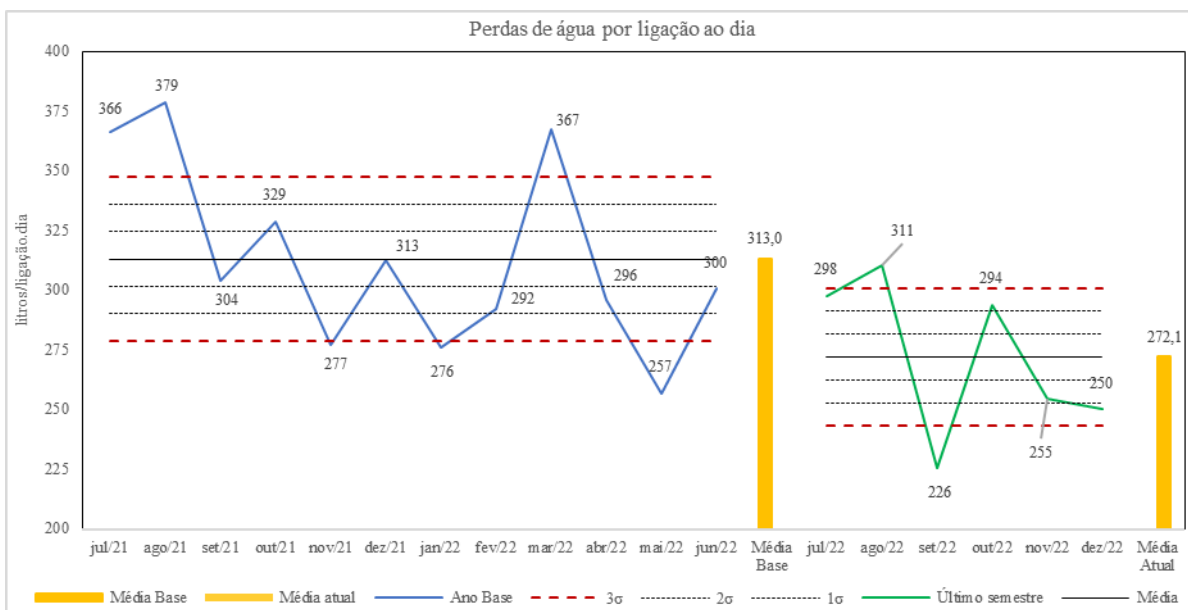


Figura 8 – CEP do sistema de abastecimento de água “E”



## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A avaliação dos resultados de perdas de água por meio do controle estatístico de processo – CEP pode contribuir com os prestadores de serviço na introdução das ferramentas da qualidade no gerenciamento das suas atividades. Entretanto, os sistemas verificados atualmente não possuem metodologia da qualidade total ou similar aplicados.

O desenvolvimento desta primeira versão do CEP não seguiu à risca todas as contribuições técnicas para cálculo dos LC, LSC e LIC, conforme sugerem Montgomery & Hunter (2008) e Davis et al. (2001), na qual afirmam os valores que extrapolem os LSC e LIC devem ser removidos dos cálculos. Este fato se dá pela agência não possuir os valores anteriores ao mês de julho/2021, na qual foi instituído neste mês o Programa de Redução de Perdas pela Resolução CSR nº 005/2021. Também, os valores das variáveis que compõem o cálculo do índice de perdas por ligação não são precisos por falta de macromedição, levando a corroborar para os autores não remover os valores que exploraram, pois seria a remoção de uma evidência de falta de controle do processo.

O índice de perdas por ligação ao dia (l/lig.dia) foi escolhido para formar o CEP, devido apresentar realmente a grandeza de perdas de cada sistema. Os índices em percentual não demonstram claramente as contribuições de perdas de todos os sistemas, visto que um município com 10 mil habitantes e 30% perdas de água tem menor representatividade que um município com 80 mil habitantes e 30% de perdas de água.

O CEP integrado a fiscalização indireta da agência irá contribuir para a abertura de não conformidades para resolução dos prestadores de serviço, sendo assim um mecanismo de fomento para o controle e redução de perdas. Sugere-se atualização das 4 definições do processo sem controle, apresentado por Montgomery & Runger (2007), para abertura de não conformidades ao prestador de serviço.

A evolução do LC (média) verificou-se que alguns municípios elevaram e outros diminuíram o LC. Os sistemas que aumentaram o LC (aumentaram as perdas) são passíveis de abertura de não conformidade, porém foi realizado o teste *t-student* para verificar se realmente existe diferença entre as médias para um nível de significância de 0,05. Caso as médias apresentem-se iguais, não há necessidade de abertura de não conformidade.

A amplitude (LSC – LIC) que demonstrarem um aumento são passíveis de abertura de não conformidade, mesmo que as médias se apresentem iguais para o teste *t-student*. O aumento da amplitude significa que existe uma maior variância entre os resultados ocorridos, consequentemente, demonstra um descontrole do processo.

Os pontos que extrapolam o LSC e LIC são passíveis de não conformidades. A extrapolação do LSC sinaliza que possa ter ocorrido um problema pontual em algum mês, tal como aumento de rompimento de redes. A extrapolação do LIC pontualmente sinaliza que possa ter ocorrido um erro de leitura ou estimativa dos volumes de cálculo do índice. Logo, os pontos que fogem o comportamento normal do CEP precisam ser investigados.

As dimensões das figuras 4, 5, 6, 7 e 8 foram mantidas iguais, assim como as amplitudes do eixo “y” das respectivas figuras (350 l/lig.dia), para obter a percepção do comportamento e da dimensão das perdas de água por sistema. Nitidamente, visualiza-se na figura 3 uma ordem de grandeza e de variações elevadas e na figura 7 uma ordem de grandeza de variações menores.

Os pontos que apresentam um comportamento característico no mesmo CEP ou entre vários CEP demonstram que possa estar ocorrendo manipulação dos dados. Assim, curvas que nitidamente possuem a mesma característica no gráfico ou dois ou mais gráficos com o mesmo comportamento devem ser investigados, assim deve-se abrir não conformidades.

Dentro do exposto, os sistemas apresentados estão passíveis de averiguação das ocorrências, assim sugere-se avaliação das seguintes não conformidades:

- Sistema A – aumento do LC, mês de set/22 abaixo do LIC e mês de out/202 acima de LSC;
- Sistema B – mês de set/22 abaixo do LIC e mês de out/202 acima de LSC;





- Sistema C – aumento do LC, mês de set/22 abaixo do LIC e mês de out/202 acima de LSC;
- Sistema D – aumento da amplitude, mês de ago/22 acima do LIC e mês de set/202 abaixo de LSC;
- Sistema E – mês de ago/22 acima do LIC e mês de set/202 abaixo de LSC;
- Todos os sistemas – Apresentam uma queda abrupta do resultado de setembro com a posterior elevação do resultado de outubro.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

O CEP demonstrou-se uma ferramenta de fácil utilização, destacando os pontos anômalos e alterações do processo de maneira perceptível. A precisão do CEP e a aplicação na integrada do método deve ser buscada à medida que os dados dos volumes dos processos forem totalmente medidos por macromedição. Logo, os pontos considerados *outliers* devem ser mantidos nos estudos como forma de provocar a melhoria no sistema, no que diz sobre as medições.

O recálculo do limites de controle do CEP (LSC e LIC) fizeram-se necessário devido o comportamento do sistema ser dinâmico, o período sendo o cenário da primeira avaliação do sistema e os 6 meses posteriores a efetiva percepção da evolução ou não do sistema com relação as perdas de água.

Portanto, o CEP demonstra uma ferramenta adequada para ser utilizada pelas fiscalizações indiretas, podendo facilmente reconhecer padrões de comportamento indesejáveis para as perdas de água no sistema de abastecimento. Também, como fonte geradora do fomento do controle de perdas e da gestão dos sistemas. Para o próximos trabalhos, sugere-se apresentar a evolução do período base de verificação tendo em vista a evolução dos sistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA REGULADORA INTERMUNICIPAL DE SANEAMENTO DO RIO GRANDE DO SUL – AGESAN-RS. Resolução CSR 005/2021 – Institui o programa de redução de perdas nos prestadores de serviços regulados pela AGESAN-RS. Porto Alegre, RS, AGESAN-RS 2022. Disponível em: <https://agesan-rs.com.br/index.php/resolucoes-csr>. Acesso: 25 jan. 2023.
2. DAVIS, M. M.; AQUILINO, N. J.; CHASE, R. B. Fundamentos da administração da produção. 3. Ed. Porto Alegre, RS, Bookman Editora, 2001.
3. DEKKING, F. M.; KRAAIKAMP, C.; LOPUHAÄ, H. P.; MEESTER, L. E. A modern introduction to probability and statistics – Understanding why and how. Londres, Inglaterra, Springer, 2005.
4. FILHO, J. T. Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água – Posicionamento e contribuições técnicas da ABES. Rio de Janeiro, RJ, ABES, 2016.
5. FORSYTH, D. Probability and statistics for computer Science. Illinois, Estados Unidos Springer, 2018.
6. MANZI, D. A Hidráulica de todo dia no saneamento. 1. Ed. Curitiba, PR, Appris, 2020.
7. MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Tradução Verônica Calado. 2. reimpr. Rio de Janeiro, RJ, LTC, 2008.
8. QUALIDADE NA PRÁTICA – CONSULTORIA E TREINAMENTO (QPCT). Carta de controle. Disponível em: <https://setting.com.br/blog/processos/o-que-e-controle-estatistico-processo>. Acesso: 19 jan. 2023.
9. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral ano de referência 2021. Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília, DF, MDR, 2022.
10. SETTING CONSULTORIA – SC. Controle estatístico de processo. Disponível em: <https://setting.com.br/blog/processos/o-que-e-controle-estatistico-processo>. Acesso: 19 jan. 2023.