

ASPECTOS DA GESTÃO AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE CORNÉLIO PROCÓPIO-PR: CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE DA ÁGUA

Rogério Mendonça MARTINS (Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP)

Marcela Ribeiro de ALBUQUERQUE (UENP)

Rosemirian MARTINS (UENP)

Mauro Nunes de OLIVEIRA (UENP)

RESUMO

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar a qualidade da água ofertada a população de Cornélio Procópio, na saída do tratamento ofertado pela Sanepar, empresa estatal com participação privada, por meio de métodos de controle estatístico de qualidade. Para tal, foram utilizadas Cartas de Controle de Shewhart para medidas individuais. As variáveis analisadas neste estudo foram: Turbidez, Cloro e Fluoreto. As cartas de controle com medidas individuais para média e amplitude mostraram que quase todas as variáveis apresentaram dados dentro dos limites para o controle estatístico de qualidade e, apenas o gráfico de controle para a variável Fluoreto apresentou dois pontos fora dos limites exigidos pelo Ministério da Saúde. Em média, os 702 pontos amostrados das variáveis turbidez estavam dentro do controle estatístico, 1397 pontos amostrados das variáveis cloro estavam dentro do controle estatístico e dos 707 pontos amostrados da variável fluoreto, apenas dois ficaram fora dos limites de controle de qualidade.

Palavras-chave: Gestão ambiental. Qualidade da água. Cartas de controle estatístico de qualidade.

1 INTRODUÇÃO

Dentre as questões relacionadas à gestão ambiental, tem-se primeiro a compreensão de que este tipo de gestão propõe um sistema onde há a possibilidade de desenvolvimento de uma produção ecologicamente correta, de construção de uma cultura baseada em valores ambientais e, sobretudo, a de que esses aspectos possam ser harmonizados à realidade de cada organização, com vistas a alterar o paradigma do crescimento econômico ilimitado pautado em ações que se desviam dos objetivos de desenvolvimento, e assim atender às necessidades por uma maior qualidade ambiental.

Neste contexto, a água é um elemento-chave, recurso natural de valor inestimável. Mais que um insumo indispensável à produção e um recurso estratégico para o desenvolvimento econômico, ela é vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos, que mantêm em equilíbrio os ecossistemas, além de ser fundamental nos processos biológicos, a

água é utilizada pelo homem como matéria prima, alimento, e na irrigação, assim como, para geração de energia elétrica, refrigeração de máquinas, limpeza e processos industriais.

De acordo com relatório da ONU para o dia mundial da água, sua qualidade em todo o mundo é cada vez mais ameaçada à medida que as populações humanas crescem, atividades agrícolas e industriais se expandem e as mudanças climáticas ameaçam alterar o ciclo hidrológico global. Daí a necessidade urgente para a comunidade global como setores público e privado unir-se para assumir o desafio de proteger e melhorar a qualidade da água nos nossos rios, lagos, aquíferos e torneiras.

É sabido que a água potável não será disponibilizada de forma infinita, o que demanda necessariamente um maior cuidado e atenção especialmente por parte dos gestores, policy makers, para garantir que as necessidades vitais sejam atendidas em longo prazo.

Diante de toda esta situação faz-se necessário um estudo detalhado do controle estatístico da qualidade da água para o consumo humano. Assim, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar a qualidade da água ofertada a população de Cornélio Procopio, na saída do tratamento ofertado pela Sanepar, empresa estatal com participação privada, por meio de métodos de controle estatístico de qualidade.

Para cumprir a proposta apresentada, este trabalho é estruturado conforme segue: partindo-se da introdução aqui apresentada, segue-se para a seção 2 onde se apresenta uma breve fundamentação teórica acerca da temática em questão. A seção 3 evidencia a metodologia utilizada no estudo. Na seção 4 são abordados os gráficos de controle, bem como os resultados e análise daqueles. Por fim, a seção 5 traz as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, prerrogativa em seu art. 2º, § 1º:

São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

Neste sentido, conforme se apresenta na Lei, além da necessidade em assegurar a oferta de água em quantidade suficiente a atender a demanda existente, cabe salientar o fato de que esta oferta se dê em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

Em relação aos objetivos inerentes a meta de desenvolvimento econômico, tem-se a universalização do serviço de abastecimento de água como um aspecto relevante, sobretudo em quantidade e qualidade essencial para reduzir os riscos à saúde pública.

Na consecução de tal objetivo, faz-se necessária a adoção de estratégias de gestão ambiental que incluam especificamente a implementação dos padrões e procedimentos prerrogados na legislação, principalmente aquelas afetas ao controle da qualidade da água para consumo humano.

Assim, em articulação com os prestadores de serviços públicos de abastecimento de água para consumo humano, órgãos de meio ambiente, estados, Distrito Federal e municípios, a partir da Portaria nº 177/2011 da Funasa, criou-se o Programa Nacional de Apoio ao Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano (PNCQA), pela Coordenação de Controle da Qualidade da Água (Cocag), integrante do Departamento de Saúde Ambiental (Desam), da Fundação Nacional de Saúde (Funasa).

No entanto, na concepção do Ministério da Saúde, as ações concernentes ao controle da qualidade da água tem sido quase que inexpressíveis. A realidade de diversos municípios são deterioradas sob o aspecto de especialmente não possuírem profissionais especializados, bem

como laboratórios capazes de realizar o monitoramento da qualidade da água, do manancial ao sistema de distribuição.

O Controle Estatístico de Processo (CEP) está presente em muitas empresas nacionais e multinacionais que em um mundo globalizado estão sempre em busca de resultados positivos e que por isso tal processo vem sendo estudado e difundido por todo o mundo.

É cada vez mais evidente a utilização de instrumentos estatísticos para a realização dessa quantificação, e que por isso o estudo da estatística vem sendo realizado por estudiosos de outras áreas que encontram na estatística o ferramental adequado.

Ademais, faz-se de grande importância a execução do processo de monitoração da produção de água tratada, pois caso haja amostras fora de controle, sugere-se indício de que fatores não aleatórios de variação estão interferindo no processo, e conseqüentemente, este fato pode comprometer significativamente a qualidade da água potável caso tais fatores não sejam eliminados.

Para que se tenha uma água com qualidade, apropriada para o consumo humano, é necessário que haja, durante todo o processo de distribuição, um controle eficaz garantindo assim a sua potabilidade e não trazendo riscos a saúde humana. Mas na prática esse controle vem acompanhado de grandes problemas, pois são inúmeros os fatores que podem prejudicar o abastecimento, causando assim a contaminação da água. Esses problemas em geral necessitam serem detectados de maneira rápida afim de que possam ser solucionados com urgência, sempre visando à saúde do consumidor (FRAZÃO, 2010).

Com tantos problemas enfrentados para garantir uma água com qualidade, as Estações de Tratamento de Água (ETA) vêm buscando métodos e alternativas que facilitem a detecção de falhas no abastecimento. Inúmeras coletas de amostras para análises são feitas, verificando se estão dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo Ministério da Saúde e, em caso contrário, intervenções são necessárias para restabelecer a normalidade no abastecimento.

Dentre os métodos utilizados para controlar a qualidade da água distribuída, o controle estatístico de qualidade é bastante útil e eficaz quando aplicado adequadamente. Através das cartas de controle, construídas a partir das análises dos dados coletados, consegue-se detectar falhas no abastecimento e em quais pontos estão ocorrendo tais falhas, tornando assim a manutenção mais rápida e eficaz.

Existem vários tipos de cartas de controle, então é necessário cuidado ao aplicá-las. As cartas de controle de Shewhart para medidas individuais são um exemplo dessas cartas que são aplicadas quando se considera amostras de tamanho, onde a variabilidade do processo é estimada através da amplitude móvel, calculada entre duas observações consecutivas (MONTGOMERY, 2009).

Para implantação deste método no sistema de abastecimento de água, é necessário que se tenha um criterioso plano de amostragem, com base em critérios estatísticos e pontos estratégicos que sejam representativos do sistema de abastecimento a ser avaliado de forma a maximizar a qualidade da água.

3 METODOLOGIA

3.1. Cartas de Controle para Medidas Individuais

As cartas de controle têm como objetivo controlar a variação dos dados em relação a uma linha média central, sendo estabelecido, a partir dela, um intervalo de confiança (Linha Inferior e Linha Superior), no qual se espera que o verdadeiro valor da variável esteja contido. Valores observados fora dessas linhas limites mostram que o processo não se encontra dentro do controle estatístico de qualidade.

Os gráficos de medidas individuais são utilizados para amostras de tamanho $n = 1$. Isso acontece geralmente quando não é possível obter amostras de tamanho maior que um (1), como em determinados processos químicos, por exemplo. Para fazer o gráfico de controle nesses casos, estima-se a variabilidade através da amplitude móvel MR de duas observações sucessivas (VIEIRA, 1999).

Cartas de controle para medidas individuais são constituídas tanto em relação à amplitude móvel (MR), quanto em relação à média das observações. Para a construção das cartas de controle para amplitude móvel é necessário que se encontre tal amplitude, duas a duas, de observações consecutivas, sendo elas calculadas da seguinte forma:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|$$

Ou seja, cada amplitude móvel é calculada como sendo o valor absoluto de sua observação subtraído da observação anterior.

Após isso é possível então encontrar a linha central (LC) e, a partir dela, a linha inferior (LIC) e a linha superior (LSC), que constituem o intervalo para o controle estatístico. Essas linhas são obtidas da seguinte maneira:

$$LC = \overline{MR}$$

isto é, a linha central nada mais é que a média aritmética de todas as amplitudes móveis encontradas. Segue então que a linha inferior e a linha superior são, respectivamente, calculadas da seguinte maneira:

$$LIC = D_3 \times \overline{MR}$$

$$LSC = D_4 \times \overline{MR}$$

onde D_3 e D_4 são valores tabelados, considerando $n = 2$

Já a para as cartas de controle para a média das observações as linhas de controle são obtidas através de:

$$LC = \bar{x}$$

Ou seja, a linha central é igual à média de todas as observações. A linha inferior (LIC) e a linha superior (LSC) são calculadas, respectivamente, do seguinte modo:

$$LIC = \bar{x} - 3 \times (\overline{MR}/d_2)$$

$$LSC = \bar{x} + 3 \times (\overline{MR}/d_2)$$

onde d_2 é tabelado, considerando $n = 2$

Para Ribeiro Júnior (2013), os gráficos de controle por variáveis são utilizados para o monitoramento da variabilidade e da média, em subgrupos racionais de tamanhos constantes (n) o variáveis (n_i), com observações individuais ($n = 1$) ou com repetições ($n \geq 2$). Eles são utilizados quando o variável resposta Y for capaz de assumir valores com base numa amostra de um intervalo contínuo e, quando aleatórios, fizerem parte de uma v.a.c (variável aleatória contínua) Y normal e independentemente distribuída.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma a atender o objetivo proposto neste estudo, esta seção destina-se a apresentar os principais resultados auferidos a partir da avaliação de qualidade da água ofertada a população

de Cornélio Procópio, na saída do tratamento por meio de métodos de controle estatístico de qualidade.

4.1 Cartas de Controle para a Turbidez

Nas figuras de 1 a 3 são apresentadas as Cartas de Controle de Shewhart para medidas individuais que mostram o controle estatístico de qualidade de cada variável.

A carta de controle (Figura 1) refere-se à amplitude móvel das observações da variável Turbidez com LC = 0,478 mg/l, LIC = 0,401 mg/l e LSC = 0,555 mg/l, calculados a partir das fórmulas descritas na seção 3.1 com $\overline{MR} = 0,029$ mg/l, os valores tabelados (Tabela em anexo) para $n = 2$ são: $D_3 = 0$ e $D_4 = 3,267$.

Na carta de controle da figura 1 observa-se que todos os pontos estão dentro do controle estatístico de qualidade, indicando que estão dentro dos limites exigidos pelo Ministério da Saúde.

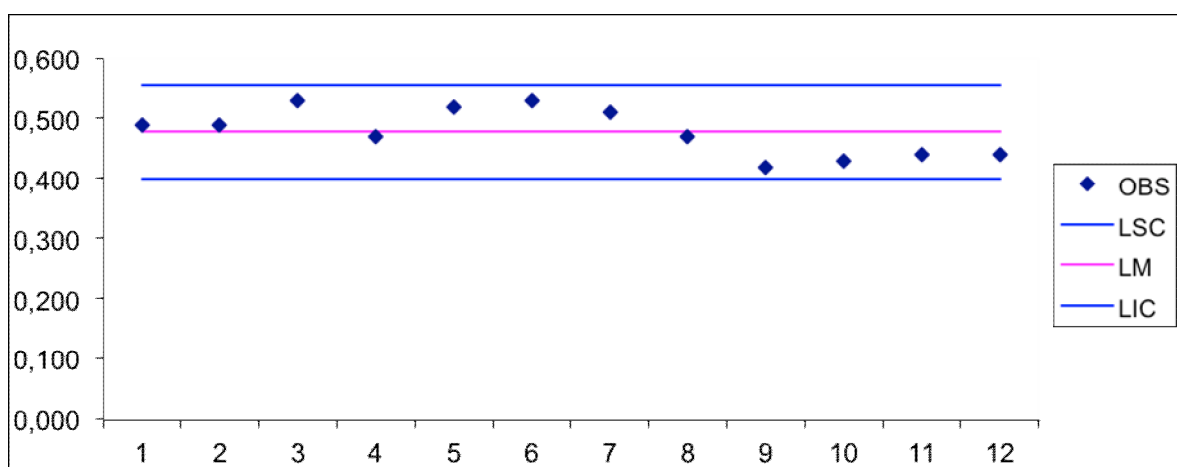


Figura 1 i Carta de Controle para Amplitude Móvel da Turbidez

Fonte: Elaboração própria

4.2 Cartas de Controle para o Cloro

A carta de controle na Figura 2 refere-se à média das observações do Cloro, com LC = 1,496 mg/l, LIC = 1,469 mg/l, LSC = 1,522mg/l, também calculados a partir das fórmulas descritas na seção 3.1 com $\overline{MR} = 1,496$ mg/l, o valor tabelado (Tabela em anexo) para $n = 2$ é: $d_2 = 1,128$. Observa-se que a maioria dos pontos está próximos da média móvel, sendo que apenas um ponto se encontra no limite inferior do gráfico de controle, indicando também um bom controle dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo Ministério da Saúde.

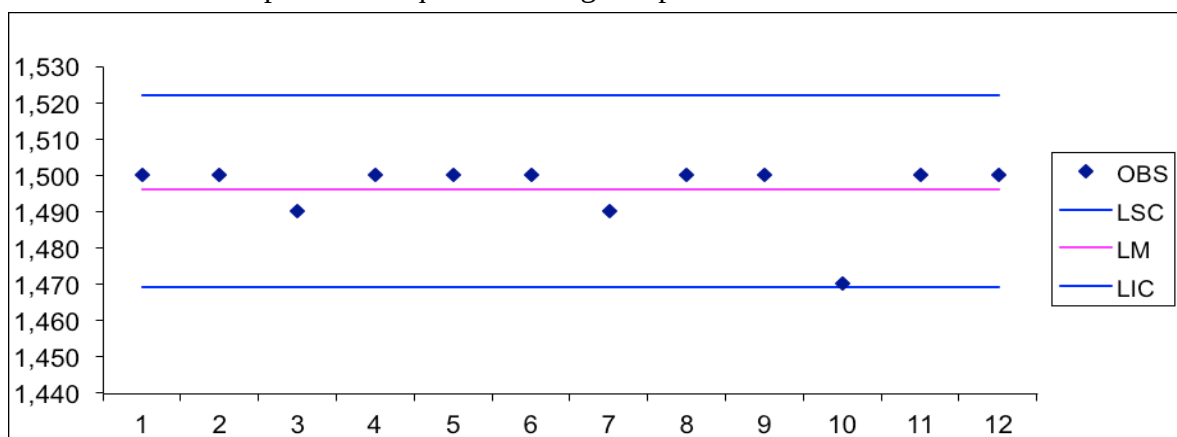


Figura 2 i Carta de Controle para Amplitude Móvel do Cloro

Fonte: Elaboração própria

4.3 Cartas de Controle para o Fluoreto

A carta de controle da Figura 3 refere-se à média das observações do Fluoreto, construídas levando em consideração as mesmas fórmulas descritas na seção 3.1. Obteve-se $LC = 0,783$ mg/l, $LIC = 0,746$ mg/l e $LSC = 0,821$ mg/l com $\overline{MR} = 0,014$

Nota-se também que existem duas observações fora do intervalo de controle, abaixo deste, mostrando que as observações não estão dentro do controle estatístico de qualidade indicando que possa estar localizados próximos do local de tratamento da água.

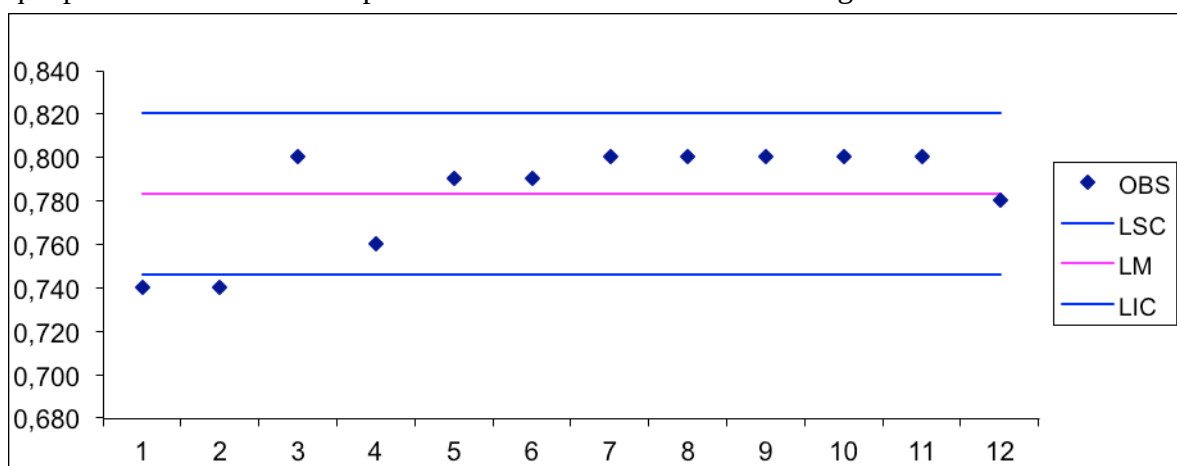


Figura 3 Carta de Controle para Amplitude Móvel do Fluoreto

Fonte: Elaboração própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do uso das cartas de controle com medidas individuais para amplitude e média nas amostras em estudo mostrou-se uma boa alternativa, pois se conseguiu detectar dados fora dos limites do controle estatístico de qualidade e dos padrões de potabilidade da água com base nas exigências do Ministério da Saúde.

A turbidez mostrou que todas as observações estão dentro dos padrões de controle de qualidade exigidos pelo Ministério da saúde.

O cloro também se situou dentro dos padrões de controle de qualidade, ficando apenas um ponto no limite mínimo tolerável.

A maioria dos pontos do fluoreto ficou dentro do controle de qualidade exigidos pelo Ministério da saúde, apenas dois pontos ficaram abaixo do limite superior, o que possivelmente possa ter ocorrido a leitura dos pontos estarem localizados próximos do local de tratamento de água.

Em média, 100% (702 pontos amostrados) dos dados das variáveis turbidez estavam dentro do controle estatístico de qualidade, 100% (1397 pontos amostrados) dos dados do parâmetro cloro também estavam dentro do controle estatístico de qualidade e somente 0,28% dos (707 pontos amostrados) estavam fora dos padrões exigidos pelo Ministério da Saúde.

Tais resultados podem sugerir que o controle de qualidade da água no município de Cornélio Procópio vem sendo realizado de maneira adequada e satisfatória, porém para obter implicações de maior densidade faz-se necessário o conhecimento de todo o processo de tratamento da água.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, N. G. A.; LINDOSO, R. L.; Aplicação de Gráficos de Controle para Monitoramento Estatístico da Turbidez da Água Potável. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte, MG, Out. 2011.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518. Norma de qualidade da água para consumo humano. Brasília, 2005. 23p.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso em: 19 de junho 2014.
- FRAZÃO, I. M. M. Controle Estatístico de Qualidade da Água na rede Municipal de Abastecimento, 2010. Monografia (Especialização em Estatística) ã Universidade Estadual de Londrina.
- HENNING, E.; WALTER, O.M.C.F.; SOUZA, N.S.S.; SAMOBYL, r.w. Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, ISSN 1984-9354, agos. 2011.
- ONU.ORG. <http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-agua/> . Acesso em 20 de Dez. 2012.
- Klein, M. R.; Szkut, F. D.; Reis, C. F.; Bonemberger, S. B.; Suszek, F. L.; Vilas Boas, M. A. Gráficos de Shewhart no Processo de Aplicação de Água de um Sistema de Irrigação Familiar por gotejamento. IV Winotec ã Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação. Fortaleza ã CE. Mai. 2012.
- MAGALHÃES, Marcos Nascimento; LIMA, Antonio Carlos Pedroso de. **Noções de Probabilidade e Estatística**. 6. Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.
- MEDRI, W.; SOEIRO, J. C.; YOTSUMOTO, A. S.; DALMAS, J. C.; NÓBREGA, M. M. Amostragem probabilística no controle da qualidade da água para o consumo humano. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina- PR, v. 33, p. 49-56, Jan/Jun. 2012.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC. 513p.
- REIS, Marcelo Menezes. Um modelo para o ensino do controle estatístico da qualidade. Florianópolis: UFSC, 2001. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Métodos estatísticos aplicados ao controle da qualidade. 22 Ed. Viçosa ã MG: Editora UFV. 2013.
- VIEIRA, Sonia. **Estatística para a Qualidade**: Como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços. Rio de Janeiro: Elsevier, 1999. 10ª Tiragem.

7 ANEXO A – FATORES PARA CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE PARA AS VARIÁVEIS (MONTGOMERY, 2004)

Observações na Amostra, n	Gráfico para Médias			Gráficos para Desvio Padrão						Gráficos para Amplitudes						
	Fatores para Limites de Controle			Fatores para Linha Central		Fatores para Limites de Controle				Fatores para Linha Central			Fatores para Limites de Controle			
	A	A ₂	A ₃	c ₄	1/c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2,121	1,880	2,659	0,7979	1,2533	0	3,267	0	2,606	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	0,8862	1,1284	0	2,568	0	2,276	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,575
4	1,500	0,729	1,628	0,9213	1,0854	0	2,266	0	2,088	2,059	0,4857	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	0,9400	1,0638	0	2,089	0	1,964	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,115
6	1,225	0,483	1,287	0,9515	1,0510	0,030	1,970	0,029	1,874	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	0,9594	1,0423	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	0,9650	1,0363	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	0,9693	1,0317	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	0,9727	1,0281	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	0,9754	1,0252	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	0,9776	1,0229	0,354	1,646	0,346	1,610	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	0,9794	1,0210	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	0,9810	1,0194	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	0,9823	1,0180	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	0,9835	1,0168	0,448	1,552	0,440	1,526	3,532	0,2831	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	0,9845	1,0157	0,466	1,534	0,458	1,511	3,588	0,2787	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	0,9854	1,0148	0,482	1,518	0,475	1,496	3,640	0,2747	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	0,9862	1,0104	0,497	1,503	0,490	1,483	3,689	0,2711	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	0,9869	1,0133	0,510	1,490	0,504	1,470	3,735	0,2677	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	0,9876	1,0126	0,523	1,477	0,516	1,459	3,778	0,2647	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	0,9882	1,0119	0,534	1,466	0,528	1,448	3,819	0,2618	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	0,9887	1,0114	0,545	1,455	0,539	1,438	3,858	0,2592	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	0,9892	1,0109	0,555	1,445	0,549	1,429	3,895	0,2567	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	0,9896	1,0105	0,565	1,435	0,559	1,420	3,931	0,2544	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541

Para $n > 25$,

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}}; \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \times \sqrt{n}}; \quad c_4 \cong \frac{4 \times (n-1)}{4 \times n - 3}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \times \sqrt{2 \times (n-1)}}; \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \times \sqrt{2 \times (n-1)}}$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2 \times (n-1)}}; \quad B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2 \times (n-1)}}$$