



*Empowered lives.  
Resilient nations.*

## **Relatório de análise da evolução do consumo de poliol formulado com HCFC-141b entre os anos de 2013 e 2019**

AUTOR: LUCAS ANDRADE DE AZEVEDO

Belo Horizonte, 09 de abril de 2021

## 1 SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Sumário .....   | 2  |
| 2     | Objeto do estudo .....  | 3  |
| 3     | Atividades a serem apresentadas .....   | 4  |
| 4     | Metodologia .....   | 5  |
| 4.1   | Base de dados .....   | 5  |
| 4.2   | Testes realizados.....  | 5  |
| 4.2.1 | ANOVA com um fator .....  | 5  |
| 4.2.2 | Regressão linear Simples .....  | 6  |
| 4.2.3 | Teste t para 2 amostras .....   | 6  |
| 5     | Apresentação e discussão dos resultados .....   | 8  |
| 5.1   | Tratamento dos dados para análise.....  | 8  |
| 5.2   | Evolução do consumo de poliol entre 2013 e 2019.....  | 10 |
| 5.3   | Evolução da produção da indústria de transformação brasileira .....   | 12 |
| 5.4   | Comparação entre médias – ANOVA .....   | 13 |
| 5.5   | Regressão linear entre o consumo de poliol e a produção trimestral da indústria de transformação brasileira ..... | 14 |
| 5.6   | Teste T para duas amostras .....  | 17 |
| 6     | Conclusões.....   | 19 |
| 7     | Referências Bibliográficas.....   | 20 |

## 2 OBJETO DO ESTUDO

Desenvolvimento de proposta de metodologia estatística que permita estimar o consumo de poliol formulado com HCFC-141b no ano de 2013, a partir das informações e análises obtidas dos anos-base de 2018 e 2019 para empresas do setor de espumas de poliuretano.

### 3 ATIVIDADES A SEREM APRESENTADAS

Em estreita articulação com os órgãos competentes o presente estudo apresenta:

- Análise do histórico de consumo de polioliol formulado da base de dados fornecida pela Casa de Sistemas Poly Urethane dos anos de 2013 à 2019;
- Análise do comportamento econômico do país no período de 2013 a 2019 e os possíveis impactos nas empresas do setor de espumas de poliuretano;
- Desenvolvimento de modelamento estatístico para estimar o consumo do polioliol pela indústria nos anos entre 2013 e 2019, apresentando o intervalo de confiança e o nível de significância para as estimativas propostas.

## 4 METODOLOGIA

A seguir são apresentadas informações relevantes acerca da coleta de dados e testes realizados que fundamentam o presente estudo.

### 4.1 BASE DE DADOS

A base de dados utilizada na presente análise foi fornecida pela casa de sistemas Poly Urethane Indústria e Comércio LTDA, localizada no distrito industrial de Ibitaré, Minas Gerais e corresponde ao consumo total anual de polioliol de 21 empresas entre os anos de 2013 e 2019.

Também foram utilizadas informações públicas referentes ao impacto da indústria de transformação como um todo no PIB brasileiro. Esses dados são informações públicas fornecidas pelo IBGE que permitem avaliar se há alguma correlação entre a indústria de transformação como um todo e o universo avaliado de 21 empresas que consomem polioliol. Caso seja identificada alguma correlação, essa evidência permitirá reforçar a representatividade da base de dados sobre todo o universo da indústria a qual deseja-se estimar um comportamento médio.

### 4.2 TESTES REALIZADOS

A partir da base de dados proposta, foram realizados testes a fim de avaliar o comportamento médio, do consumo de polioliol, a sua dispersão, normalidade entre outras características estatísticas que forneçam informações adicionais sobre o comportamento geral da indústria, permitindo assim estabelecer uma correlação entre a base de dados e o comportamento médio do mercado.

#### 4.2.1 ANOVA COM UM FATOR

Análise de variância (ANOVA), testa a hipótese de que as médias de duas ou mais populações são iguais. As ANOVAs avaliam a importância de um ou mais fatores, comparando as médias de variáveis de resposta nos diferentes níveis de fator. A hipótese nula afirma que todas as médias de população (médias de nível de fator) são iguais, enquanto a hipótese alternativa afirma que pelo menos uma é diferente.

Para efetuar uma ANOVA, é necessário haver uma variável de resposta contínua e pelo menos um fator categórico com dois ou mais níveis. As análises ANOVA exigem dados de populações aproximadamente normalmente distribuídas com variâncias iguais entre fatores. Entretanto, os procedimentos ANOVA funcionam bem mesmo quando a pressuposição de normalidade é violada.

O nome "análise de variância" baseia-se na abordagem em que o procedimento utiliza variâncias para determinar se as médias são diferentes. O procedimento funciona através da comparação da variância entre as médias de grupos versus a variância dentro dos grupos como uma maneira de

determinar se os grupos são todos parte de uma população maior ou populações distintas com características diferentes.

No presente estudo o teste de ANOVA será utilizado para avaliar se o consumo médio de poliol em todo o período de teste é igual ou diferente.

---

#### 4.2.2 REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

Uma análise de regressão gera uma equação para descrever a relação estatística entre uma ou mais preditoras e a variável de resposta e para prever novas observações. A regressão linear normalmente usa o método de estimativa de mínimos quadrados ordinários que deriva a equação minimizando a soma dos resíduos quadrados.

A regressão linear simples examina a relação linear entre duas variáveis contínuas: uma resposta ( $y$ ) e uma preditora ( $x$ ). Quando as duas variáveis são relacionadas, é possível prever um valor de resposta de um valor da preditora com exatidão melhor do que a chance.

A regressão fornece a linha que "melhor" ajusta os dados. Essa linha pode ser usada para:

- Examinar como a variável de resposta muda quando o preditor muda.
- Prever o valor de uma variável de resposta ( $y$ ) para qualquer variável preditora ( $x$ ).

Na regressão por mínimos quadrados ordinários, a equação estimada é calculada determinando-se a equação que minimiza a soma do quadrado das distâncias entre os pontos de dados da amostra e os valores preditos pela equação.

O estudo utilizará a regressão linear simples para buscar estabelecer uma correlação entre o consumo de poliol com o nível de produtividade da indústria de transformação do Brasil no mesmo período.

---

#### 4.2.3 TESTE T PARA 2 AMOSTRAS

Um teste  $t$  é um teste de hipótese da média de uma ou duas populações distribuídas normalmente. Existem diversos tipos de testes  $t$  para diferentes situações, mas todos usam uma estatística de teste que segue uma distribuição  $t$  sob a hipótese nula. O teste  $t$  para 2 amostras testa se a diferença entre as médias de duas populações independentes é igual a um valor alvo.

Populações independentes são amostras selecionados aleatoriamente para que as suas observações não dependam dos valores de outras observações. Muitas análises estatísticas são baseados

no pressuposto de que as amostras são independentes. Outras são projetadas para avaliar as amostras que não são independentes.

O estudo buscará utilizar o teste T para duas amostras para buscar determinar se existe diferença estatística entre o consumo de poliol dos anos de 2013 e 2019 para as empresas avaliadas.

## 5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 TRATAMENTO DOS DADOS PARA ANÁLISE

Os dados referentes ao consumo de polioli foram fornecidos pela casa de sistemas Poly Urethane Indústria e Comércio LTDA, e são apresentados na Tabela 1.

Pela avaliação da base de dados é possível observar que as empresas possuem níveis de consumo de polioli muito diferentes entre si. Algumas empresas consomem toneladas em um único ano enquanto outras chegam a consumir apenas algumas dezenas de quilos. Essa diversificação no volume de consumo indica que trabalhamos com um espectro amplo de empresas e por isso acreditamos que essa amostra pode representar bem esse mercado específico uma vez que ele inclui empresas de todos os portes.

|            | Ano 2013 | Ano 2014 | Ano 2015 | Ano 2016 | Ano 2017 | Ano 2018 | Ano 2019 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Empresa 1  | 2605     | 1836     | 1645     | 1105     | 1560     | 1940     | 2200     |
| Empresa 2  | 1590     | 1050     | 1260     | 880      | 420      | 210      | 1320     |
| Empresa 3  | 5363     | 3150     | 1470     | 1890     | 1050     | 1260     | 4880     |
| Empresa 4  | 68720    | 26460    | 29610    | 29190    | 31920    | 35490    | 72870    |
| Empresa 5  | 30200    | 8400     | 18480    | 18060    | 21420    | 12210    | 25600    |
| Empresa 6  | 15390    | 12390    | 14490    | 5200     | 4410     | 5250     | 12600    |
| Empresa 7  | 2760     | 1470     | 1200     | 630      | 120      | 420      | 1380     |
| Empresa 8  | 2300     | 1050     | 1260     | 630      | 720      | 660      | 1100     |
| Empresa 9  | 1339     | 954      | 880      | 424      | 530      | 795      | 1180     |
| Empresa 10 | 1870     | 1120     | 1680     | 53       | 420      | 360      | 840      |
| Empresa 11 | 1100     | 2148,52  | 1950,3   | 1579,5   | 1285,2   | 1080     | 2133     |
| Empresa 12 | 1580     | 1630     | 1520     | 2100     | 2520     | 4200     | 3990     |
| Empresa 13 | 3800     | 4200     | 1324     | 3360     | 2310     | 1260     | 1860     |
| Empresa 14 | 1840     | 2100     | 1209     | 1260     | 1470     | 1260     | 1680     |
| Empresa 15 | 2800     | 1210     | 530      | 683      | 880      | 1103     | 2100     |
| Empresa 16 | 5060     | 1472     | 840      | 950      | 1740     | 1560     | 2800     |
| Empresa 17 | 940      | 251      | 2012     | 3150     | 3008     | 2660     | 1350     |
| Empresa 18 | 1442     | 1210     | 477      | 318      | 424      | 830      | 1100     |
| Empresa 19 | 2668     | 1219     | 1007     | 1219     | 1113     | 1215     | 1980     |
| Empresa 20 | 2970     | 1050     | 473      | 371      | 368      | 105      | 1860     |
| Empresa 21 | 87682    | 67410    | 46200    | 55860    | 56505    | 44730    | 52400    |

Tabela 1 - Consumo (Kg) Polioli Fomulado – Fonte: Poly Urethane Ind e Comércio LTDA

Porém para caracterizar o comportamento do mercado como um todo, não se pode avaliar o mercado pelo consumo total de polioli, pois dessa forma as empresas com grandes consumos apresentarão um impacto muito maior frente ao consumo de todas as outras empresas de menor escala. Logo, no presente estudo avaliamos que a melhor forma de se estudar o comportamento médio do mercado consiste em retirar o peso de cada empresa em relação ao seu consumo médio e trabalhar a análise avaliando exclusivamente a taxa de consumo específica de cada empresa. Assim se consegue trazer todas as empresas para a mesa base. O cálculo do consumo relativo de cada empresa é dado pela seguinte fórmula:

$$\text{Consumo relativo}_{ano} = \frac{\text{Consumo}_{ano}}{\left( \frac{\sum_{2013}^{2019} \text{Consumo}_{ano}}{7} \right)}$$



A partir da conversão da base de dados, obtém-se a Tabela 2, nela foi eliminando o impacto gerado pelo volume médio de consumo de cada companhia. Nesse quando todas as companhias possuem um consumo médio de 1,00 e ano após ano o consumo varia em cima de sua respectiva média, logo um mês que apresente um consumo de 1,41 é similar a dizer que nesse ano o consumo da empresa foi 41% acima de sua média em todo o período de 2013 a 2019. Da mesma forma se o consumo específico de uma empresa é 0,89, significa que ela está com um consumo 11% menor que a sua média no mesmo período.

|            | Ano 2013 | Ano 2014 | Ano 2015 | Ano 2016 | Ano 2017 | Ano 2018 | Ano 2019 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Empresa 1  | 1,41     | 1,00     | 0,89     | 0,60     | 0,85     | 1,05     | 1,19     |
| Empresa 2  | 1,65     | 1,09     | 1,31     | 0,92     | 0,44     | 0,22     | 1,37     |
| Empresa 3  | 1,97     | 1,16     | 0,54     | 0,69     | 0,39     | 0,46     | 1,79     |
| Empresa 4  | 1,63     | 0,63     | 0,70     | 0,69     | 0,76     | 0,84     | 1,73     |
| Empresa 5  | 1,57     | 0,44     | 0,96     | 0,94     | 1,12     | 0,64     | 1,33     |
| Empresa 6  | 1,54     | 1,24     | 1,45     | 0,52     | 0,44     | 0,53     | 1,26     |
| Empresa 7  | 2,42     | 1,29     | 1,05     | 0,55     | 0,11     | 0,37     | 1,21     |
| Empresa 8  | 2,09     | 0,95     | 1,14     | 0,57     | 0,65     | 0,60     | 1,00     |
| Empresa 9  | 1,54     | 1,09     | 1,01     | 0,49     | 0,61     | 0,91     | 1,35     |
| Empresa 10 | 2,06     | 1,24     | 1,85     | 0,06     | 0,46     | 0,40     | 0,93     |
| Empresa 11 | 0,68     | 1,33     | 1,21     | 0,98     | 0,80     | 0,67     | 1,32     |
| Empresa 12 | 0,63     | 0,65     | 0,61     | 0,84     | 1,01     | 1,68     | 1,59     |
| Empresa 13 | 1,47     | 1,62     | 0,51     | 1,30     | 0,89     | 0,49     | 0,72     |
| Empresa 14 | 1,19     | 1,36     | 0,78     | 0,82     | 0,95     | 0,82     | 1,09     |
| Empresa 15 | 2,11     | 0,91     | 0,40     | 0,51     | 0,66     | 0,83     | 1,58     |
| Empresa 16 | 2,46     | 0,71     | 0,41     | 0,46     | 0,84     | 0,76     | 1,36     |
| Empresa 17 | 0,49     | 0,13     | 1,05     | 1,65     | 1,57     | 1,39     | 0,71     |
| Empresa 18 | 1,74     | 1,46     | 0,58     | 0,38     | 0,51     | 1,00     | 1,33     |
| Empresa 19 | 1,79     | 0,82     | 0,68     | 0,82     | 0,75     | 0,82     | 1,33     |
| Empresa 20 | 2,89     | 1,02     | 0,46     | 0,36     | 0,36     | 0,10     | 1,81     |
| Empresa 21 | 1,49     | 1,15     | 0,79     | 0,95     | 0,96     | 0,76     | 0,89     |

Tabela 2 - Consumo relativo Poliol para cada empresa

## 5.2 EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE POLIOL ENTRE 2013 E 2019

Uma vez que os dados foram trabalhados, iniciam-se os estudos para avaliar o comportamento da base e buscar identificar informações que podem ser extraídas desse conjunto. Assim se construiu o gráfico de Boxplot do consumo relativo de polioli para todos os períodos em análise para se compreender como o consumo relativo médio das empresas no período se comportou. Inicialmente observa-se que o ano de 2013 possui um consumo médio aparentemente mais elevado se comparado aos anos de 2014 a 2018, porém no ano de 2019 identifica-se alguma recuperação da capacidade de consumo. Para se ter certeza dessas conclusões e poder quantificá-las é necessário portanto realizar alguns testes estatísticos que auxiliarão à construção do modelamento ao qual propõem-se fazer no presente estudo.

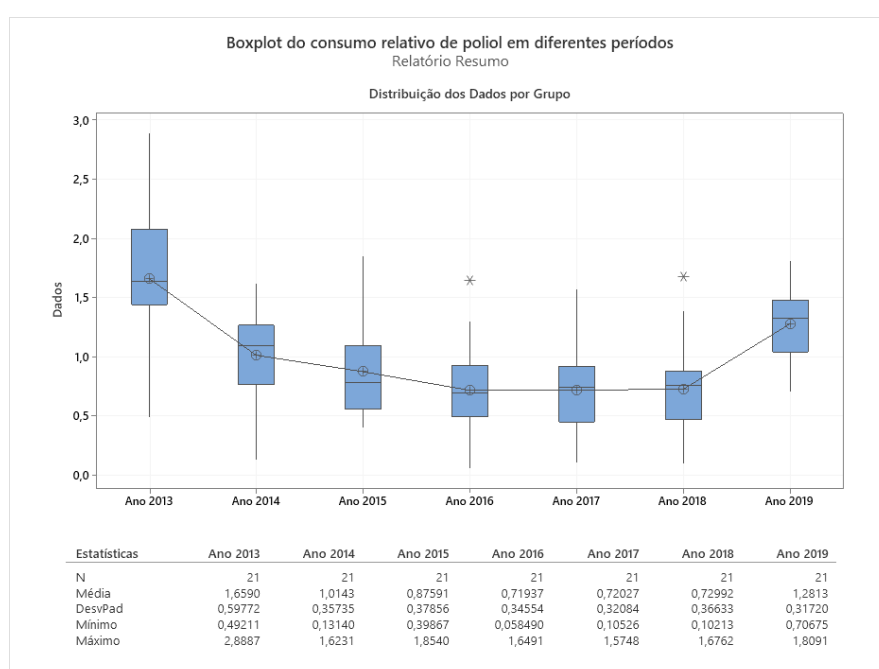


Gráfico 1 – Distribuição do consumo médio de polioli para o período entre 2013 e 2019 para toda a base de dados avaliada

Ainda na etapa preliminar para entendimento do comportamento da massa de dados, criamos os histogramas apresentados no Gráfico 2 onde é possível perceber qualitativamente a variabilidade e a dispersão dos dados. Aparentemente a base possui elementos que podem indicar um comportamento normal, como existência de uma tendência de distribuição em torno de uma média central e médias e desvios não muito diferentes. Todos esses elementos são boas indicações para definir quais testes serão utilizados nas etapas subsequentes da análise.

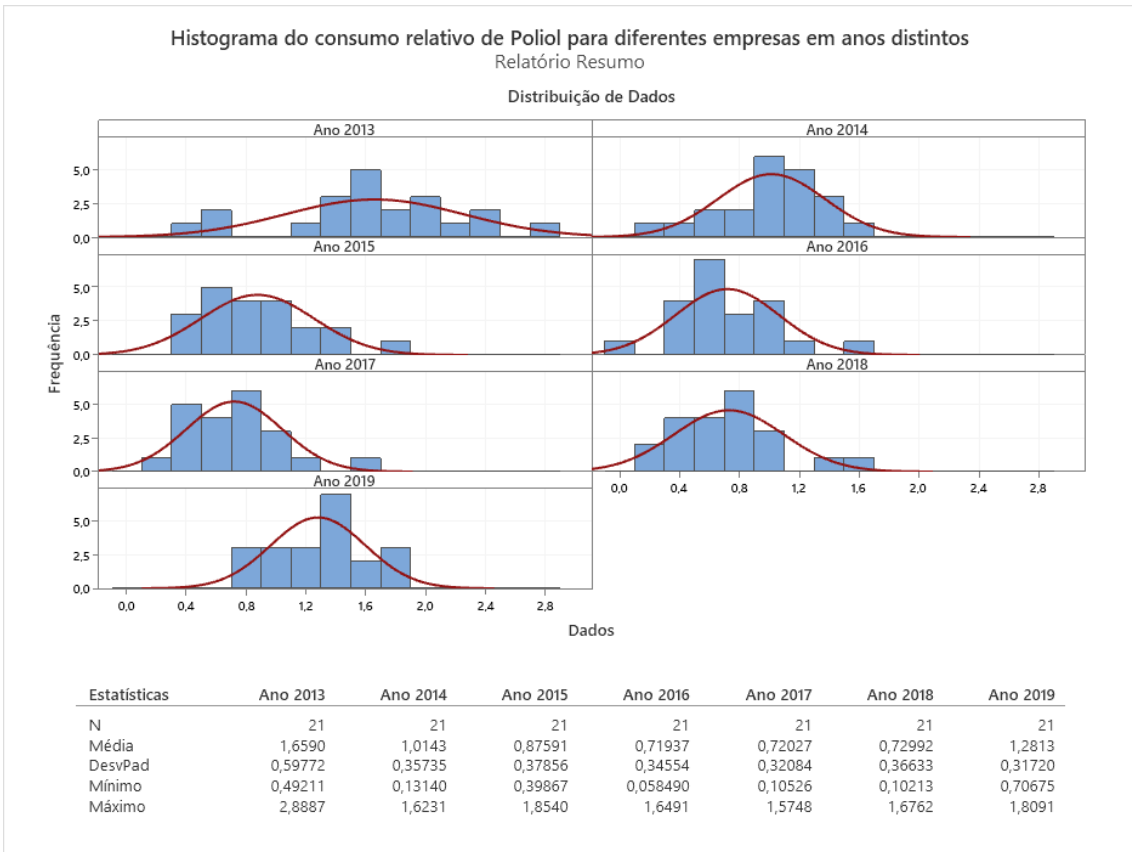


Gráfico 2 – Histograma comparativo da dispersão e diferença entre médias da base de dados

### 5.3 EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO BRASILEIRA

Através de informações públicas referente ao PIB brasileiro publicado pelo IBGE, é possível obter uma base de dados referente à produção trimestral da indústria de transformação brasileira, dados apresentados no Gráfico 3. Nela podemos perceber que aparentemente houve uma contração econômica no país desde 2013.

Outro ponto relevante a ser considerado é que o comportamento gráfico desse item possui alguma semelhança ao comportamento do consumo de polioli e dessa forma pode ser válido o teste de se obter um modelo de regressão com uma correlação ótima entre essas duas variáveis em questão através da metodologia de regressão simples pelos mínimos quadrados.

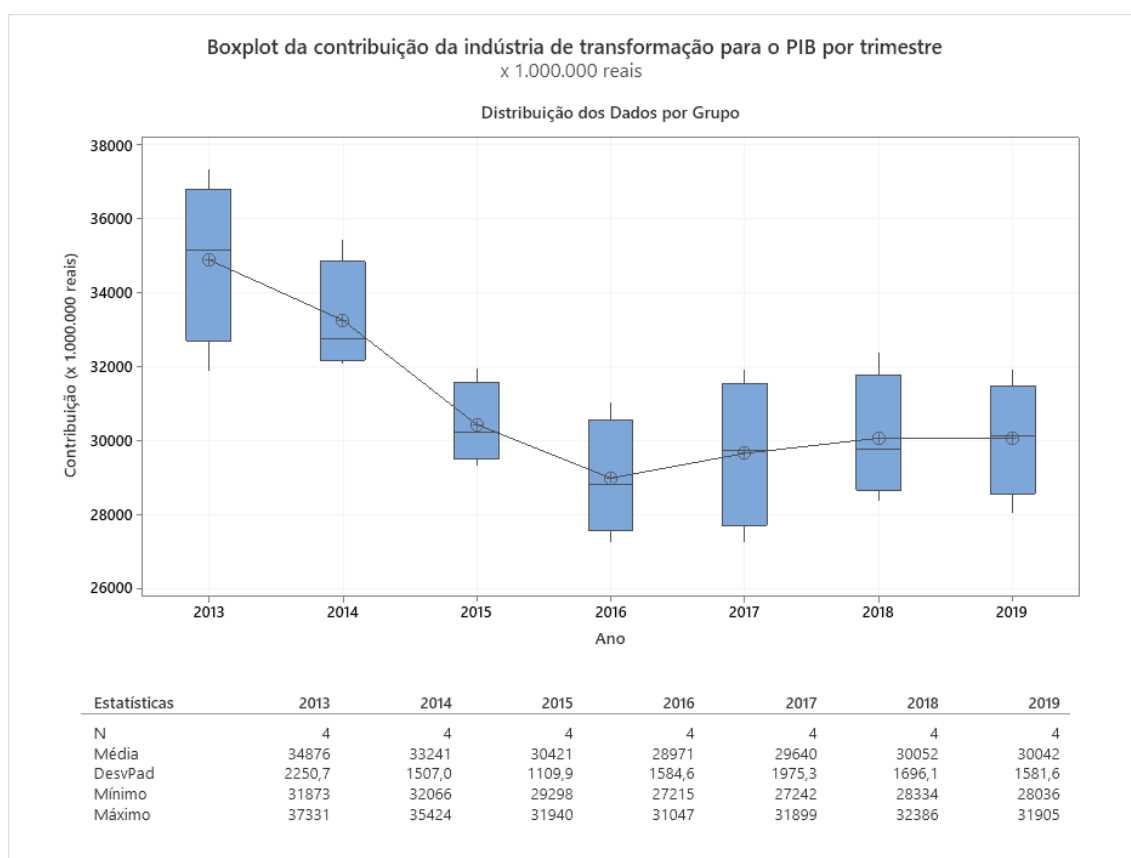
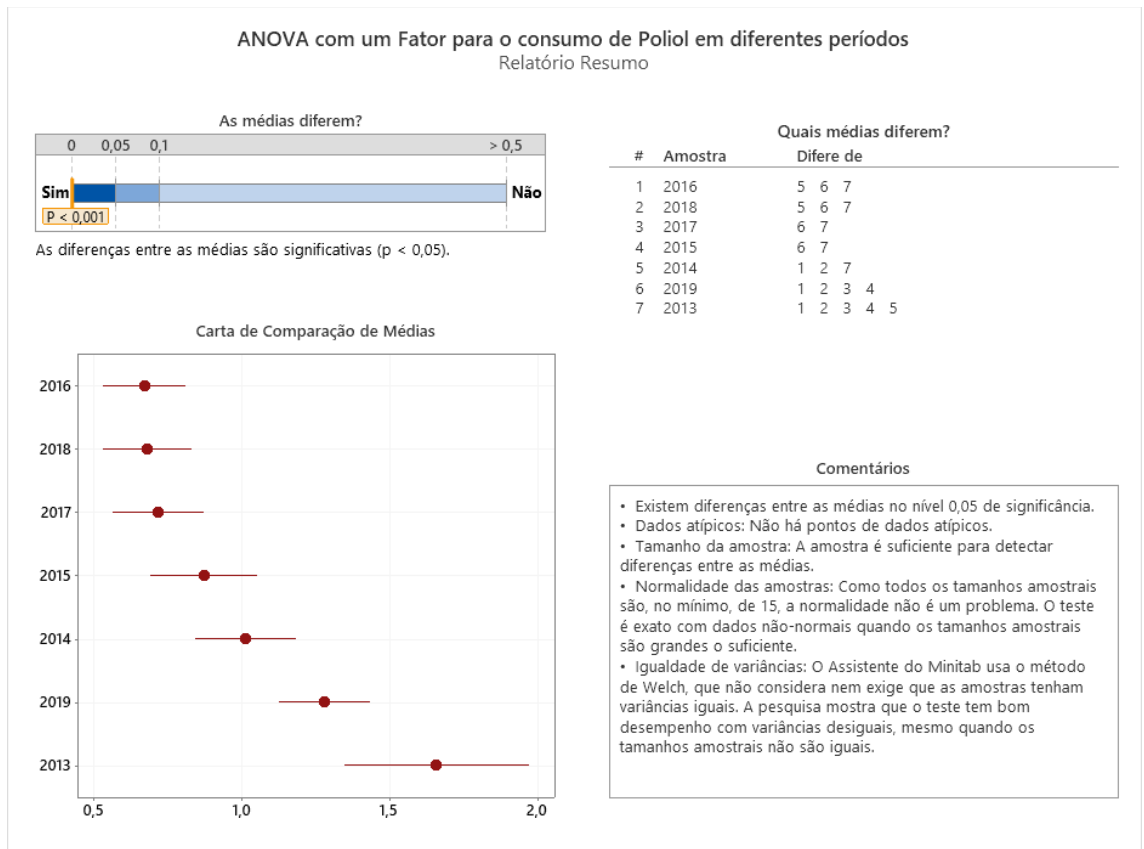


Gráfico 3 – Evolução da geração de valor trimestral da indústria de transformação brasileira – Fonte: IBGE

## 5.4 COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS – ANOVA

Foi realizado o teste de ANOVA com um fator para o consumo de poliol e através dele conclui-se que existem diferenças entre as médias no nível de significância de 0,05. Além disso é importante destacar que para esse teste o tamanho da amostra é suficiente, o volume de dados atende os critérios de normalidade e o método de Welch utilizado no estudo permite que os conjuntos possuam variâncias diferentes entre si, logo, nesse quesito não é necessário fazer outros testes para validação do modelo.



Um outro aspecto relevante ao estudo de ANOVA é avaliar se existem dados atípicos no modelo uma vez que eles podem ter uma forte influência nos resultados, porém de acordo com o Gráfico 4 não há evidências que indiquem a existência de pontos atípicos para essa análise.

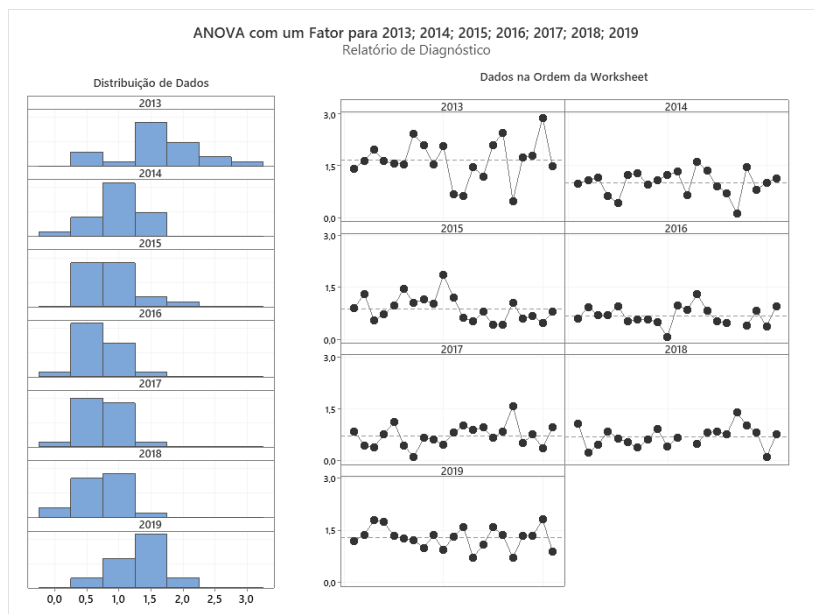


Gráfico 4 – Existência de dados atípicos no teste de ANOVA

Avaliando a diferença entre médias nos anos de 2013 e 2019, estas possuem uma diferença em módulo de 0,3777. O Gráfico 5 apresenta o estudo de poder da respectiva análise ANOVA. De forma geral recomenda-se obter uma força de análise total, de pelo menos, 90% para poder se afirmar que as médias são diferentes. Porém para o presente estudo necessitaríamos de aumentar o número de medições para aumentar a força do teste. Dessa forma concluímos que é necessário utilizar outros testes para validar ainda mais a diferença entre médias nos períodos observados.

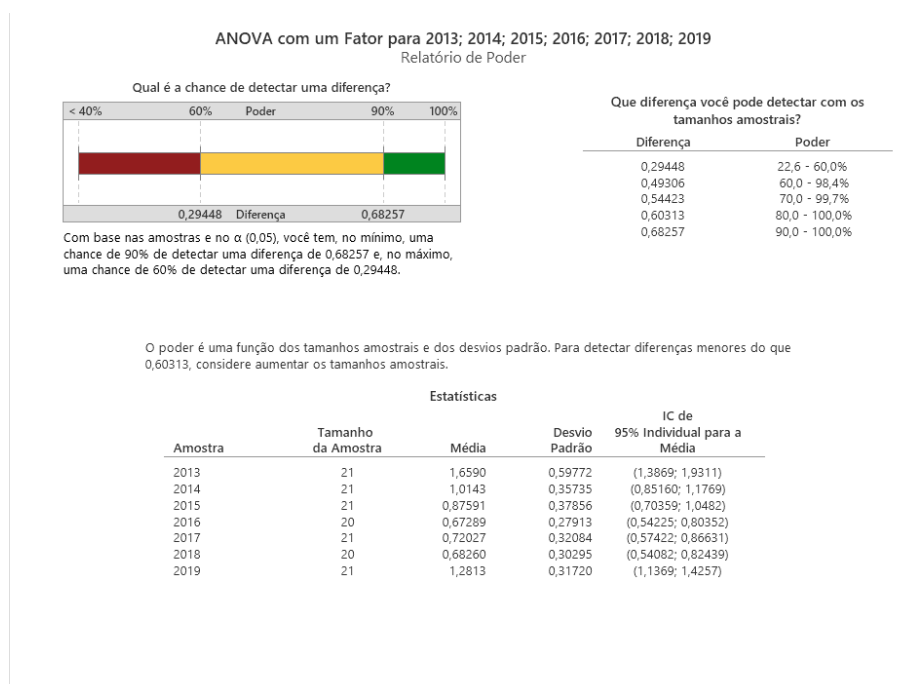


Gráfico 5 – Poder de detecção de diferença entre médias no teste de ANOVA

## 5.5 REGRESSÃO LINEAR ENTRE O CONSUMO DE POLIOL E A PRODUÇÃO TRIMESTRAL DA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO BRASILEIRA

Através de consulta a dados públicos do IBGE, foi possível obter o nível trimestral de produção industrial para o setor da indústria de transformação. As indústrias que consomem polioliol para a formação de espumas se encontram, em geral, nesse setor. A partir da espuma formada é que o produto pode ser distribuído a outros setores da indústria como construção civil por exemplo.

A partir dos dados fornecidos pelo IBGE foi possível buscar estabelecer uma correlação entre o consumo de polioliol com o nível de produção trimestral da indústria de transformação. Apesar das variáveis serem relativamente distantes, podendo haver influência de diversos outros aspectos relacionados ao mercado específico ou global, foi realizada uma regressão linear pelo método dos mínimos quadrados e através dele é possível observar que existe sim uma correlação com o índice de correlação ( $R^2$ ) de 51,72% com p-valor para o modelo em 0,000 considerando uma significância de 0,05.

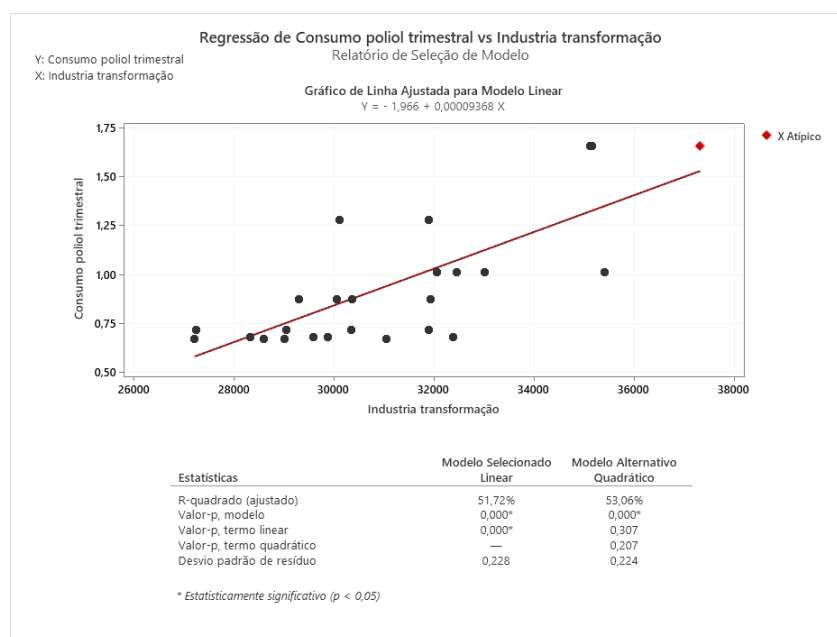


Gráfico 6 – Regressão linear entre Consumo de polioliol e produção da indústria de transformação

Uma vez que a regressão obtida possui alguma correlação foi possível estabelecer uma correlação com um intervalo de confiança. Para diferentes níveis de produção para a indústria de transformação (valores em milhões de reais) é possível obter uma variável resposta com um determinado intervalo de confiança. Por exemplo, caso a produção da indústria seja de 37.000 milhões de reais é esperado que se obtenha um consumo médio de 1,5005 (ou seja 50,05% acima da média do consumo dessa empresa) com um intervalo de confiança entre 0,97558 e 2,0254. Dessa forma essa a indústria terá

um consumo de 150,1% sobre o consumo médio dos anos 2013 a 2019 com um intervalo de confiança de  $\pm 52,5\%$ .

Naturalmente observa-se que o erro associado a essa regressão é relativamente grande, o que é consequência da distância entre as realidades de toda a indústria de transformação frente à demanda por polioli em uma empresa. Todavia é possível perceber que há uma correlação entre as variáveis e essa correlação já nos permite inferir que em momentos onde encontra-se a economia mais aquecida, a demanda por polioli também aumenta, o que é uma consequência natural do aquecimento econômico do país. Assim podemos perceber que o modelo de estimativa é válido e possui um intervalo de confiança estável ao longo de toda a curva como é possível perceber pelo Gráfico 7.

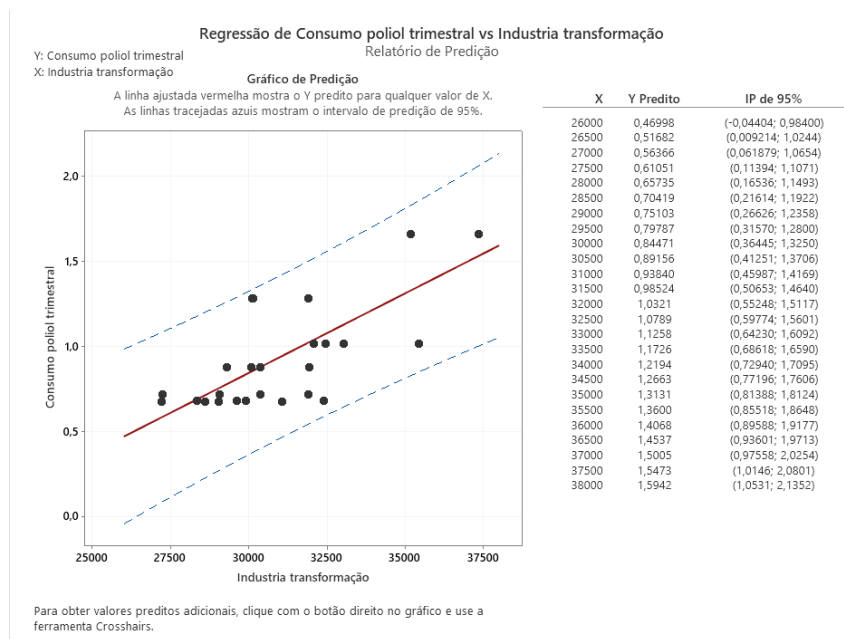


Gráfico 7 – Intervalo de confiança para a regressão linear entre Consumo de polioli e produção da indústria de transformação



## 5.6 TESTE T PARA DUAS AMOSTRAS

A partir do teste T para duas amostras foi possível comparar o consumo de poliol entre os anos de 2013 e 2019. Nessa estatística de teste não foram utilizados dados de outros anos. Foi utilizado apenas os extremos a amostra, para verificar a evidência a diferença entre os dois conjuntos.

A princípio após análise, é possível observar que a estatística de teste possui um p-valor de 0,016 o que é menor que o nível de significância proposto de 0,05, logo é permitido concluir que a média de 2013 é significativamente diferente da média de 2019.

Nesse caso a diferença entre médias é de 0,37769, ou seja, o ano de 2019 possui um consumo médio 37,77% menor que o ano de 2013. Nesse caso específico a diferença entre as médias possui uma variação mínima e máxima de 30,16%, ou seja, o consumo médio de 2019 de poliol é 37,77% com os dados podendo variar  $\pm 30,16\%$  com um intervalo de confiança de 95%.

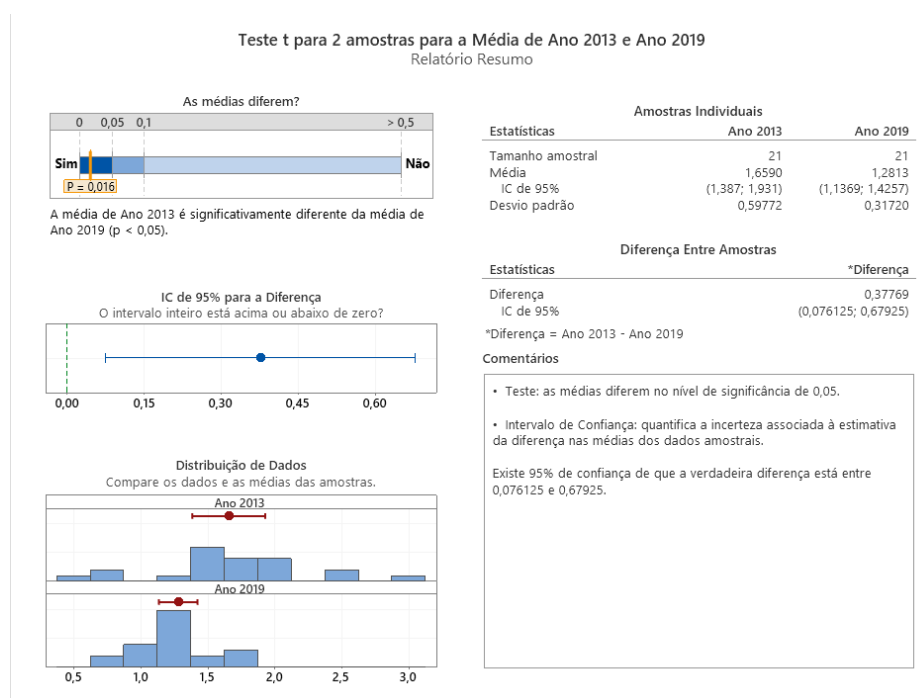


Gráfico 8 – Diferença entre consumo médio de poliol dos anos 2013 e 2019

O teste realizado apresenta desvios regulares, não indicando nenhum outro comportamento atípico para as amostras e ao mesmo tempo o teste apresenta um poder de aproximadamente 70%, ou seja, se as médias se diferirem em 37,77%, existe uma possibilidade de aproximadamente 70% de se detectar essa diferença.

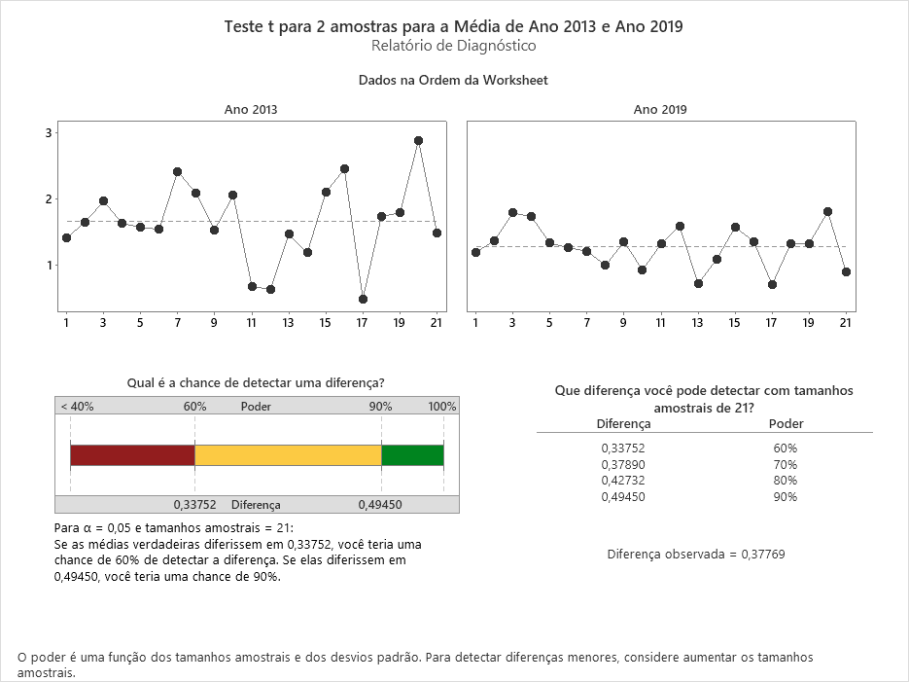


Gráfico 9 – Desvios entre consumo médio de poliol dos anos 2013 e 2019 e poder do teste T realizado.

A partir dos testes apresentados é possível concluir que:

- Existe uma diferença estatística entre consumo médio de poliol da indústria entre os anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019.
- Existe uma correlação diretamente proporcional entre o consumo de poliol e o aumento de atividade econômica da indústria de transformação. Logo para um aumento da atividade econômica no país é esperado que também ocorra um aumento do consumo médio de poliol.
- O consumo de poliol de 2019 é 37,8% menor que o consumo de 2013 com uma margem de erro de  $\pm 30,2\%$  considerando um intervalo de confiança de 95%.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Montgomery, DC; Runger, GC. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2012 (5ª Edição)
- Magalhães, MN; Lima, ACP. Noções de Probabilidade e Estatística. São Paulo: EDUSP, 2015 (7ª edição)
- [https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=downloads&utm\\_source=landing&utm\\_medium=explica&utm\\_campaign=pib#evolucao-pib](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=downloads&utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=pib#evolucao-pib)
- ✓ <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/19/>