

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MATEMÁTICA
CURSO DE ESTATÍSTICA



USO DE SÉRIES TEMPORAIS PARA PREVISÃO DAS
PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS MENSAS NA FAZENDA
ESMERIL - PATROCÍNIO-MG

ARINALDO DE OLIVEIRA

DEZEMBRO DE 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MATEMÁTICA
CURSO DE ESTATÍSTICA

USO DE SÉRIES TEMPORAIS PARA PREVISÃO DAS
PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS MENSUAIS NA FAZENDA
ESMERIL - PATROCÍNIO-MG

Trabalho de conclusão apresentado por Arinaldo de Oliveira à Faculdade de Matemática da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Estatístico.

Orientador: Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães

USO DE SÉRIES TEMPORAIS PARA PREVISÃO DAS PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS MENSAIS NA FAZENDA ESMERIL - PATROCÍNIO-MG

ARINALDO DE OLIVEIRA

Trabalho de conclusão de curso defendido em 15 de dezembro de 2015

Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães - Orientador

Prof. Leandro da Silva Almeida

Prof. Dr. Rogério de Melo Costa Pinto

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida concedida.

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU), pela oportunidade de realização do curso.

Aos professores do Curso de Estatística que contribuíram com os seus conhecimentos.

Ao Prof. Tiago Moreira Vargas pela colaboração como Coordenador do Curso de Estatística e pela orientação, como professor, mostrando os caminhos aos futuros Estatísticos.

Aos professores da banca examinadora, Ednaldo, Leandro e Rogério, pelas observações e sugestões.

Aos colegas do curso pelo convívio, colaboração e amizade.

A minha família pelo incentivo, amor e paciência.

Ao meu orientador, Ednaldo Carvalho Guimarães, pela dedicação, paciência durante a orientação deste trabalho, pela oportunidade de estar sempre aprendendo com sua grande experiência e pela relação amigável com que me permitiu desenvolver este trabalho.

USO DE SÉRIES TEMPORAIS PARA PREVISÃO DAS PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS MENSAIS NA FAZENDA ESMERIL - PATROCÍNIO-MG

RESUMO

O regime pluviométrico em uma região tem influência direta na atividade agrícola e na produtividade das lavouras. Na região de Patrocínio-MG a cafeicultura se destaca entre as atividades agrícolas. Este trabalho teve por objetivo verificar o ajuste de modelos de séries temporais na análise de dados pluviométricos da fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG. Foram utilizados dados de precipitações pluviométricas mensais expressas em altura de lamina d'água (mm), abrangendo o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2014 num total de 15 anos. Considerou-se o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2014 para o ajuste do modelo para o total, para a média e para o máximo mensal e foram feitas previsões para o ano de 2015 para cada uma das séries. O modelo sazonal simples foi o que apresentou melhor desempenho para explicar o comportamento temporal dessas variáveis, tendo como base o gráfico da série, a tabela de fatores sazonais e a função autocorrelação da série e função autocorrelação e autocorrelação parcial dos resíduos. Os resultados indicam que modelos de séries temporais podem contribuir satisfatoriamente com o conhecimento do comportamento temporal da precipitação na Fazenda Esmeril e, portanto, pode contribuir também com o manejo da cultura do café, entretanto, espera-se que a adequacidade do modelo seja progressivamente melhor com o acréscimo de observações na série.

PALAVRAS-CHAVE:

Séries temporais; Estatística pluviométrica; Modelo sazonal.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3	MATERIAL E MÉTODOS	9
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1	A série – Total mensal	11
4.2	Ajuste de modelo – Total mensal	13
4.3	Previsões – Total mensal	15
4.4	A série – Média mensal	17
4.5	Ajuste de modelo – Média mensal	19
4.6	Previsões – Média mensal	21
4.7	A série – Máximo mensal	23
4.8	Ajuste de modelo – Máximo mensal	26
4.9	Previsões – Máximo mensal	28
5	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
	ANEXO	33

1 INTRODUÇÃO

Numa atividade agrícola o resultado está intimamente ligado ao regime de chuvas. Variáveis como precipitação, temperatura e umidade do ar, por exemplo, podem determinar o sucesso ou até mesmo a implantação de uma cultura agrícola ou de um empreendimento.

Na agricultura, o preparo do solo, as datas de plantio, a irrigação são exemplos de fatores que dependem do comportamento das precipitações pluviais mensais. Este comportamento pluvial pode determinar a atividade agrícola a ser desenvolvida em determinada região.

Na Fazenda Esmeril, assim como no restante do município de Patrocínio-MG, a atividade predominante é a agropecuária, sendo o café o principal produto agrícola. Caracterizar o regime de chuvas e auxiliar no planejamento das atividades agrícola são objetivos que podem ser alcançados com o estudo da série de precipitações mensais através dos modelos de séries temporais.

Este trabalho buscou analisar séries temporais no domínio do tempo, com os seguintes objetivos:

- Verificar o comportamento do total, da média e do máximo da precipitação mensal na Fazenda Esmeril, Município de Patrocínio-MG;
- Determinar o modelo de séries temporais que explica o comportamento da série, para o total, para a média e para o máximo da precipitação mensal;
- Utilizar o modelo ajustado para o total, para a média e para o máximo da precipitação mensal para fazer previsões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tempo é uma das variáveis que pode estar interferindo na realização de um experimento ou empreendimento. A mensuração dessa variável pode estar relacionada com a ocorrência de fenômenos, como por exemplo, aqueles associados ao clima.

Uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas em intervalos equidistantes no tempo. Estas observações apresentam uma dependência serial entre elas e o estudo de uma série temporal consiste em analisar e modelar esta dependência.

De acordo com MORETTIM e TOLOI (2005), o estudo de séries temporais tem por filosofia a ideia básica de que o passado é o melhor elemento para se estimar o futuro; assim os valores passados e presentes da série serão projetados para o futuro.

A ideia de fazer previsões é antiga e é objeto de estudo nas mais diversas áreas do conhecimento, como por exemplo: Estatística, Matemática, Engenharia, Economia, Ciências Físicas, ambientais. Diante de previsões futuras é possível agir previamente, na agricultura, fazer correções ou mudar uma cultura, dependendo das previsões para o clima.

Para SILVA et al. (2008) a habilidade de antecipar como o clima irá mudar de um ano para o outro, possibilita melhor gerenciamento da agricultura, recursos hídricos e atividade pesqueira, além da possibilidade de contribuição relevante nos campos dos transportes, abastecimento, turismo e lazer. Pela incorporação das previsões climáticas nas decisões gerenciais, a humanidade se tornará melhor adaptada aos ritmos irregulares do clima.

ARAÚJO et al. (2009) comentam que o pressuposto básico da análise de séries temporais é a de que os fatores que influenciaram o comportamento da série no passado continuarão a fazê-lo no futuro.

Neste sentido, fazer previsões a partir de um conjunto de dados é de fundamental importância e a metodologia de séries temporais vem sendo usada ao longo do tempo para fazer ajustes de modelos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados utilizada neste trabalho se refere a observações obtidas na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG. O município de Patrocínio está situado na latitude 18° 56' S e longitude 46° 59' W e altitude média 972 metros acima do mar. O clima da região segundo a classificação Koppen é CWA, tropical com verão quente e úmido e inverno mais frio e seco. As observações referem-se as precipitações pluviiais diárias expressas em altura de lâmina d'água (mm), abrangendo o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2014, num total de 15 anos.

Os registros das precipitações diárias foram agrupados em registros mensais e a série foi constituída de 180 valores para os totais mensais, para as médias mensais e para os máximos mensais de precipitação pluviométrica; seus valores estão expostos no quadro A em anexo.

Considerou-se o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2014 para ajustar os modelos e as previsões foram feitas para o ano de 2015.

A metodologia usada para ajustar o modelo de séries temporais à precipitações pluviiais mensais foi a seguinte:

1. A série:

- Construção do gráfico da série para o total, para a média e para o máximo da precipitação mensal para descrição do comportamento do conjunto de dados através da inspeção visual;
- Verificação da existência de sazonalidade através da função autocorrelação.

A função autocorrelação, que é a correlação da série observada no tempo com mesma série defasada em relação ao tempo inicial, mostra os picos de sazonalidade com o respectivo intervalo de confiança e os períodos da sazonalidade da série.

2. Ajuste de modelo:

- Foi ajustado o modelo sazonal simples para o total, para a média e para o máximo da precipitação mensal;
- Cálculo de estatísticas: coeficiente de determinação R^2 , R^2 estacionário, erro absoluto médio MAE e o coeficiente de informação bayesiano BIC do modelo ajustado para cada uma das variáveis observadas;
- Cálculo da função autocorrelação dos resíduos para cada uma das variáveis.

As autocorrelações devem estar dentro do intervalo de confiança indicando não significância de correlação dos resíduos, verificadas neste caso, pela estatística de Ljung-Box.

3. Previsões

- Foram obtidas previsões mensais com o modelo sazonal simples para o total, para a média e para o máximo da precipitação mensal;
- Foram feitos os gráficos da série completa mostrando o ano de 2015 para cada uma das variáveis observadas.

Para a realização deste estudo, foram utilizados como suporte os softwares computacionais SPSS 20 (SPSS, 2011) e Excel (Excel 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 A série – Total mensal

A figura 1 apresenta a série em estudo, referente ao total mensal, sugerindo inicialmente, a presença da componente sazonal com periodicidade anual e ausência da componente tendência. A variação sazonal mantém-se aproximadamente inalterada, não demonstrando a presença de efeitos multiplicativos, sugerindo que a série possa assumir a forma aditiva. Observa-se ainda que a série indica uma ligeira queda na precipitação total mensal nos últimos dois anos na Fazenda Esmeril.

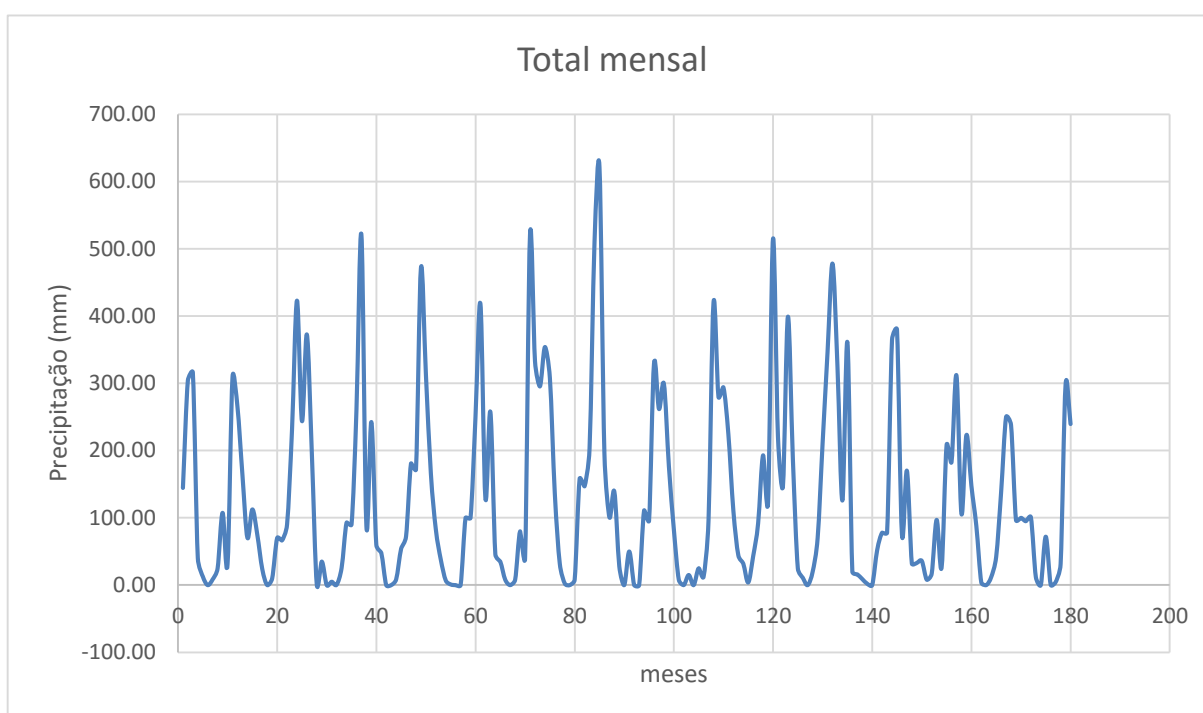


Figura 1 – Representação gráfica das precipitações pluviais mensais, para o total mensal, em milímetros d'água, Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014.

Considerando o modelo aditivo e a decomposição da série em fator sazonal e aleatórios. Os fatores sazonais (Tabela 1) mostram que nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro a precipitação, para o total mensal, ficou acima da média anual e nos meses de abril a outubro a precipitação média apresenta-se abaixo da média anual, fato este esperado para a região que tem como característica verão chuvoso e inverno seco. Nota-se ainda predomínio das chuvas nos meses de dezembro e janeiro e seca nos meses de junho, julho e agosto.

Analisando a função de autocorrelação da série de precipitações (Figura 2), pode-se observar que existem picos nos “lags” múltiplos de 12, o que indica que é uma série com sazonalidade anual.

Tabela 1. Fatores sazonais para a série de precipitações pluviiais mensais, para o total mensal, em milímetros d’água, Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014.

Meses	Fatores sazonais
Janeiro	196,7142
Fevereiro	57,9433
Março	83,9106
Abril	-44,7620
Maio	-98,7650
Junho	-124,1995
Julho	-120,0850
Agosto	-119,5001
Setembro	-71,3186
Outubro	-36,1459
Novembro	69,9939
Dezembro	206,2142

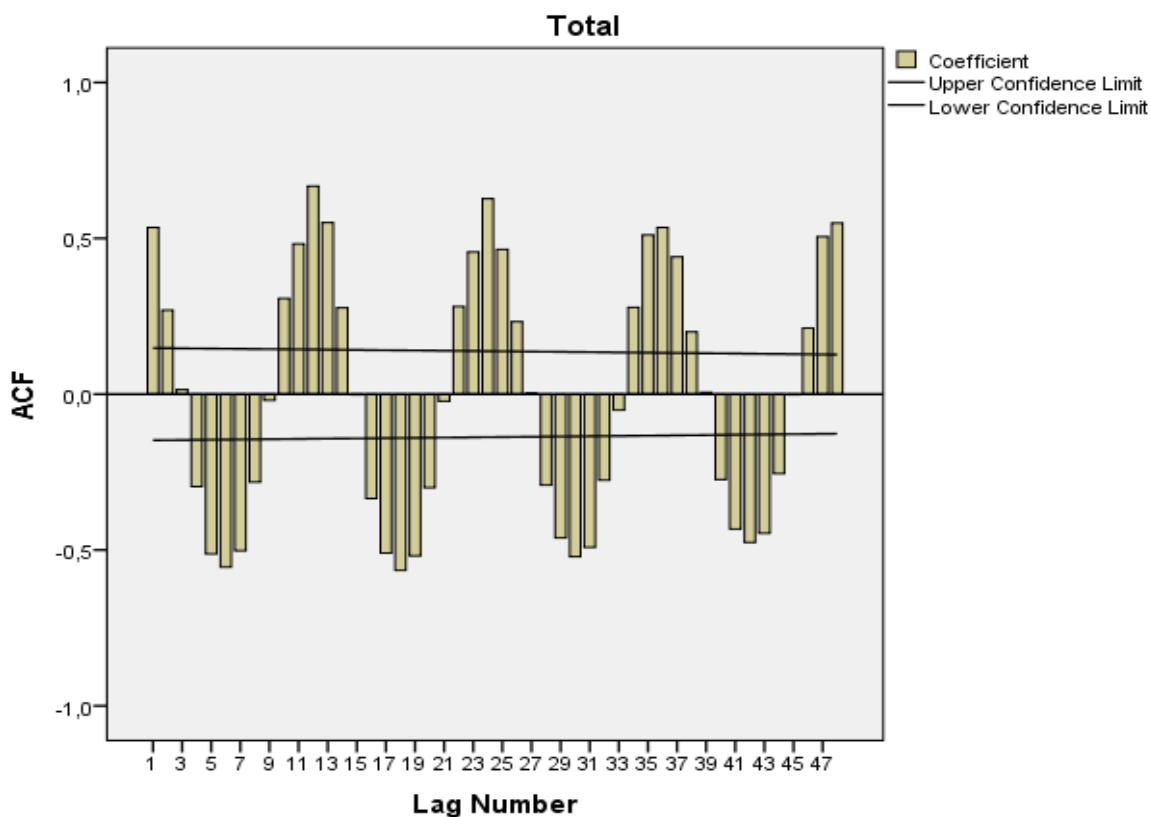


Figura 2. Função de autocorrelação para a série de precipitações pluviiais mensais, para o total mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d’água.

Estes resultados acima citados estão de acordo com aqueles obtidos por FERRAZ (1999) e ARAUJO et al (2009) que também obtiveram uma série com sazonalidade de período de 12 meses.

Na Fazenda Esmeril, a baixa na precipitação pluvial nos meses de junho, julho e agosto, coincide com a época da colheita do café, na qual é necessário muito sol para secagem do produto, para obtenção de um café de qualidade para o consumo e para a exportação. Esta fase crítica em relação a água disponível para a planta nos meses de setembro e outubro (Tabela 1) tem prejudicado a floração, sendo necessário a complementação de água por meio de irrigação para não comprometer a produtividade. Por outro lado, nos meses de novembro a fevereiro é necessário muita água para enchimento dos grãos do café. Este período coincide com o período chuvoso da região. Entretanto, o produtor deve estar atento a períodos de veranico na época, pois o ideal é que a precipitação seja bem distribuída neste período, justificando-se dessa forma a importância de se avaliar além do total acumulado nos meses também a média e a máxima mensal.

4.2 Ajuste de modelo – Total mensal

A série com as precipitações mensais, mostrada na Figura 1, não apresenta indícios de tendência, apenas a indução de sazonalidade aditiva. Desta forma, ao ajustar o modelo teórico aos dados observados obteve-se o modelo sazonal simples para a variável total mensal (Tabela 2) comprovando o que foi visualizado na Figura 1.

Tabela 2. Modelo sazonal simples da série de precipitações pluviais mensais, para o total mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Modelo	Parâmetros	Estimativa	Erro padrão
Sazonal simples	Nível	0,100	0,041
	Sazonalidade	3,099E-006	0,049

As estimativas dos parâmetros do modelo sazonal simples foram 0,100 para o nível e 3,009E-6 para a sazonalidade (Tabela 2). A qualidade do ajuste avaliada pelas estatísticas coeficiente de determinação estacionário (R^2 estacionário), coeficiente de determinação do modelo (R^2), erro absoluto médio (MAE) e critério de informação bayesiano (BIC normalizado) é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Estatísticas do modelo sazonal simples da série de precipitações pluviiais mensais, para o total mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Estatísticas	Média
R^2 estacionário	0,740
R^2	0,668
MAE	58,169
BIC normalizado	8,832

Nota-se que o R^2 estacionário com valor relativamente alto indica um bom ajuste do modelo à série observada.

O modelo ajustado apresentou $R^2 = 0,668$ indicando que 66,8% da variação total das observações são explicadas pelo modelo, o que, considerando uma série relativamente pequena (15 anos) e um fenômeno natural, pode-se considerar um bom desempenho. Cabe ressaltar ainda, que os anos de 2013 e 2014 apresentaram certa atipicidade no regime pluviométrico da região, conforme pode ser visualizado na Figura 1, e este fato também contribuiu para o acréscimo da variabilidade não explicada pelo modelo.

O erro absoluto médio (MAE) foi de 58,169 mm e o critério de informação Bayesiano (BIC) do modelo foi de 8,832, indicando também, no geral, estatísticas favoráveis ao uso deste modelo selecionado.

Na análise de observações atípicas, verificou-se que a série não possui Outliers (Tabela 4). O p-valor de Ljung-Box foi 0,639 mostrando que a série ajustada não apresenta autocorrelação nos resíduos, o que pode ser visualizado também pelas funções de autocorrelação e autocorrelação parcial dos resíduos na Figura 3.

Tabela 4. Estatísticas do modelo sazonal simples da série de precipitações pluviiais mensais, para o total mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Modelo	Ljung-Box			Número de Outliers
	Estatística	DF	Sig.	
Sazonal simples	13,465	16	0,639	0

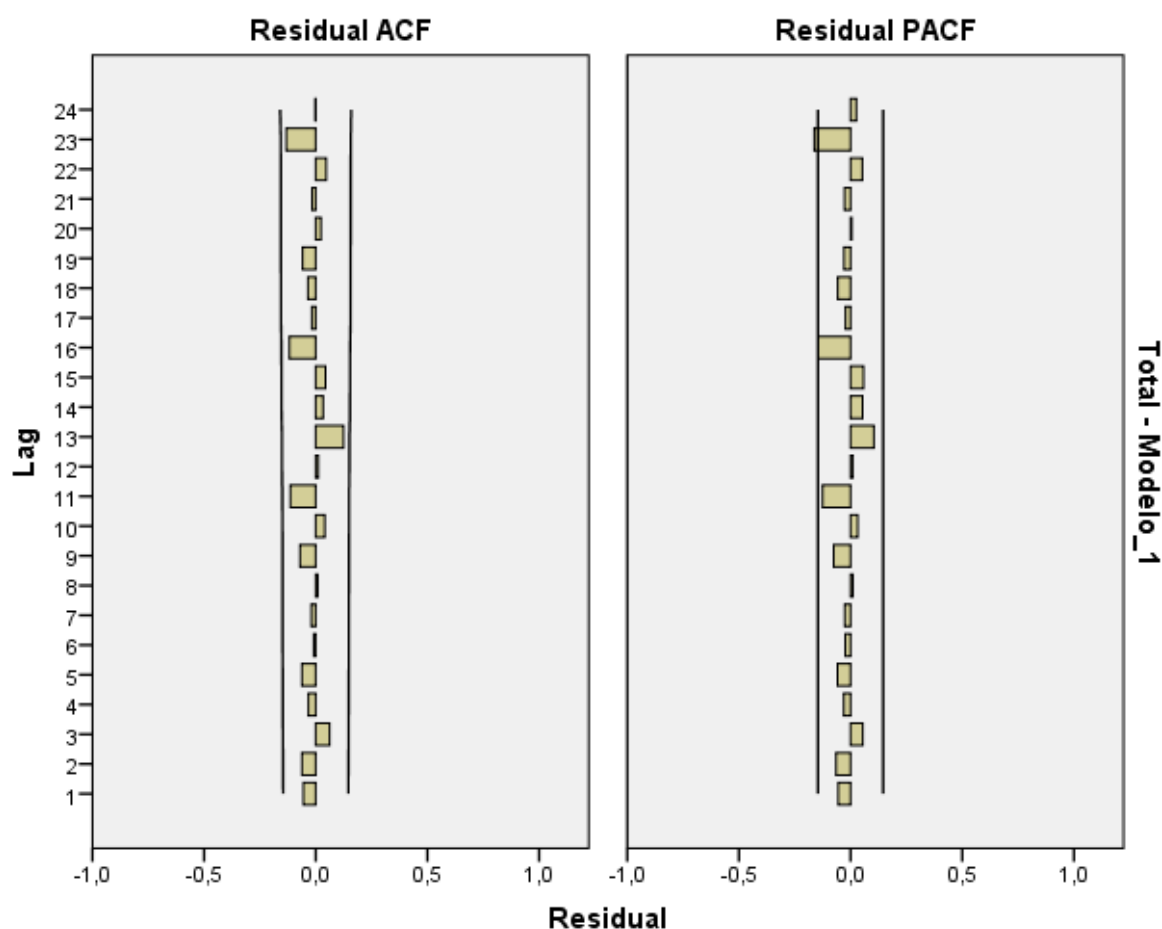


Figura 3. Função de autocorrelação dos resíduos para a série de precipitações pluviárias mensais, para o total mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Considerando, no geral, as estatísticas apresentadas pelo ajuste do modelo aos dados observados de precipitação total na Fazenda Esmeril, verifica-se que este é eficiente para a realização das previsões.

4.3 Previsões – Total mensal

A busca por valores previstos para uma meta previamente estabelecida é uma das finalidades da utilização de modelos de séries temporais. Neste caso, para o total mensal, o modelo sazonal simples gerou previsões para 2015 (Tabela 5), na qual observou-se que as precipitações para os meses de junho, julho e agosto são negativas, sendo na realidade nulas.

A Figura 4 mostra a série observada, a série ajustada e a previsão para o ano de 2015.

Tabela 5. Previsões da série de precipitações pluviiais mensais e valores observados de janeiro a novembro, para o total mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no ano 2015, em milímetros d'água.

Mês/Ano	Jan 2015	Fev 2015	Mar 2015	Abr 2015	Mai 2015	Jun 2015
Previsões	291,2	172,7	197,6	58,6	6,3	-18,3
Superior	450,0	332,2	357,9	219,6	168,2	144,3
Inferior	132,5	13,2	37,3	-102,5	-155,5	-180,9
Observado	74,50	258,00	235,00	137,00	86,00	0,50
Mês/Ano	Jul 2015	Ago 2015	Set 2015	Out 2015	Nov 2015	Dez 2015
Previsões	-13,9	-11,5	32,6	66,0	183,2	306,4
Superior	149,5	152,7	197,5	231,7	349,6	473,6
Inferior	-177,3	-175,6	-132,3	-99,6	16,8	139,3
Observado	0,00	0,00	33,00	64,00	198,00	-

A Tabela 5 mostra ainda, as precipitações pluviiais observadas para os meses de janeiro a novembro de 2015. Essas observações estão no gráfico das previsões (Figura 5) para o total mensal. Podemos visualizar que os valores previstos das precipitações, pelo modelo sazonal simples, para os meses de 2015 estão dentro do intervalo de confiança das previsões, mostrando que o modelo é adequado.

Por outro lado, o valor observado para o mês de janeiro de 2015 está fora do intervalo de confiança das previsões. Este fato deve-se a grande estiagem que aconteceu no referido mês na Fazenda Esmeril, foi o mês de janeiro com menor índice de precipitação pluviométrica desde janeiro do ano 2000. Como já comentado anteriormente, este é um dos meses críticos para o enchimento dos graus de café e, portanto, em culturas não irrigadas pode representar queda sensível na produtividade da lavoura.

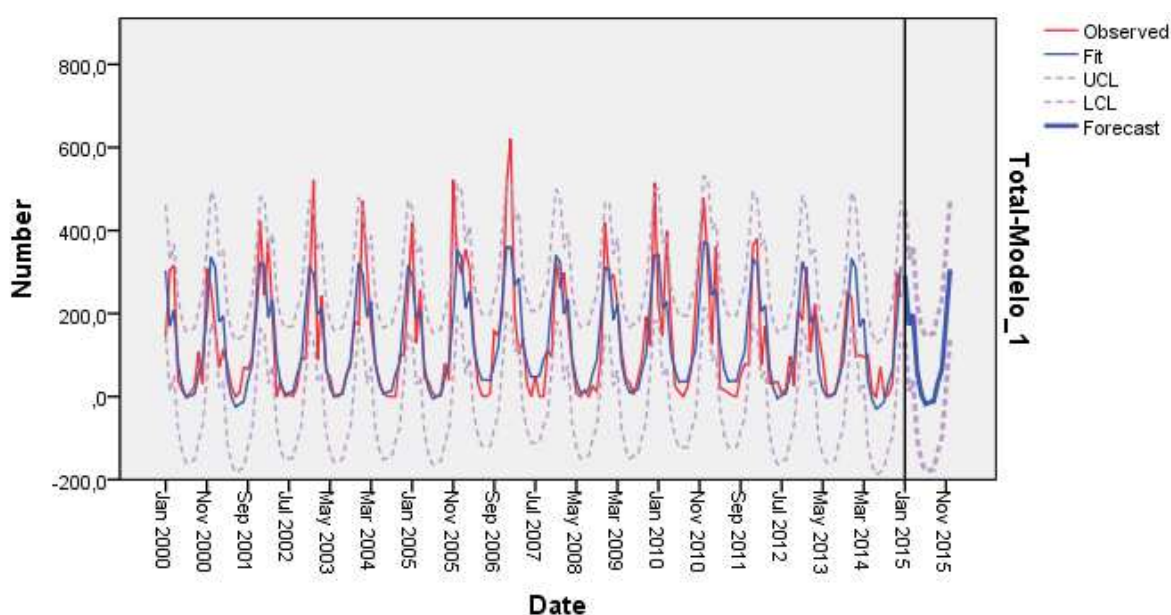


Figura 4. Previsões para 2015, série de precipitações pluviiais mensais, para o total mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

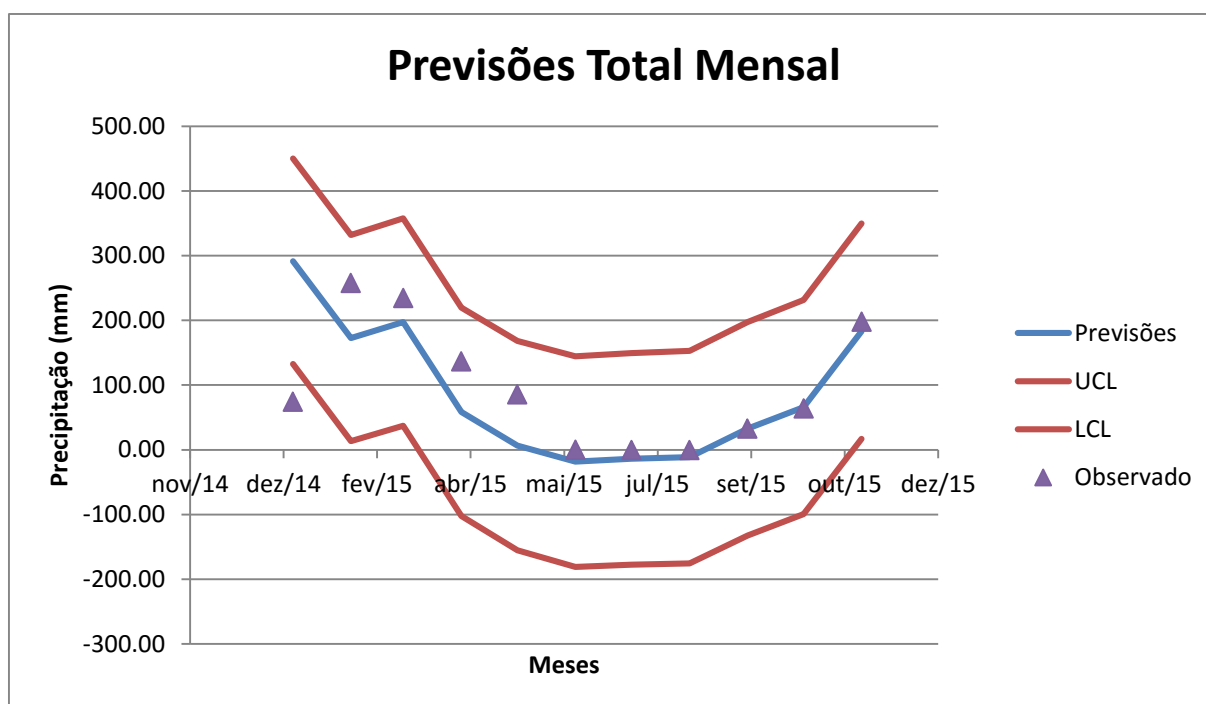


Figura 5. Previsões de janeiro a novembro de 2015, série de precipitações pluviiais mensais, para o total mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

4.4 A série – Média mensal

A Figura 6 apresenta a série em estudo, para a média mensal, também sugerindo a presença da componente sazonal com periodicidade anual e ausência da componente tendência. A variação sazonal mantém-se aproximadamente inalterada, não demonstrando a presença de efeitos multiplicativos, sugerindo que a série possa assumir a forma aditiva. Essas características similares entre total mensal e média mensal era esperada pois são séries proporcionais. Essas análises, da média mensal da série, foram feitas após a retirada dos dois Outliers, nos meses de novembro de 2005 e janeiro de 2007.

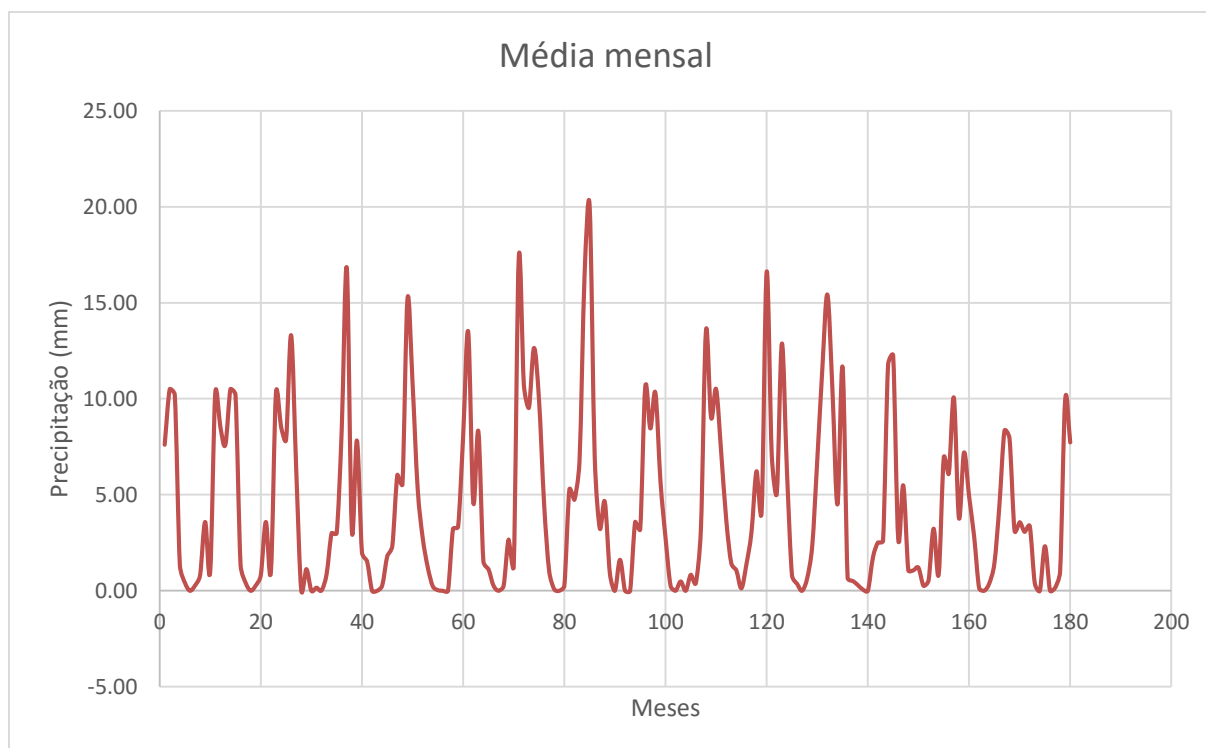


Figura 6. Representação gráfica das precipitações pluviais mensais, para a média mensal, em milímetros d'água, Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014.

Os fatores sazonais (Tabela 6) mostram que nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro a precipitação, para a média mensal, foi acima da média anual e nos meses de abril a outubro a precipitação média foi abaixo da média anual.

Na função de autocorrelação da série de precipitações (Figura 7), podemos observar que existem picos nos “lags” múltiplos de 12, o que indica que é uma série com sazonalidade anual.

Tabela 6. Fatores sazonais para a série de precipitações pluviais mensais, para a média mensal, em milímetros d'água, Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014.

Meses	Fatores sazonais
Janeiro	6,3727202
Fevereiro	2,9020777
Março	3,0537510
Abril	-1,5637285
Maio	-3,3417175
Junho	-4,1270029
Julho	-4,2554113
Agosto	-4,0716508
Setembro	-2,2467482
Outubro	-1,4397125
Novembro	2,5292279
Dezembro	6,1881949

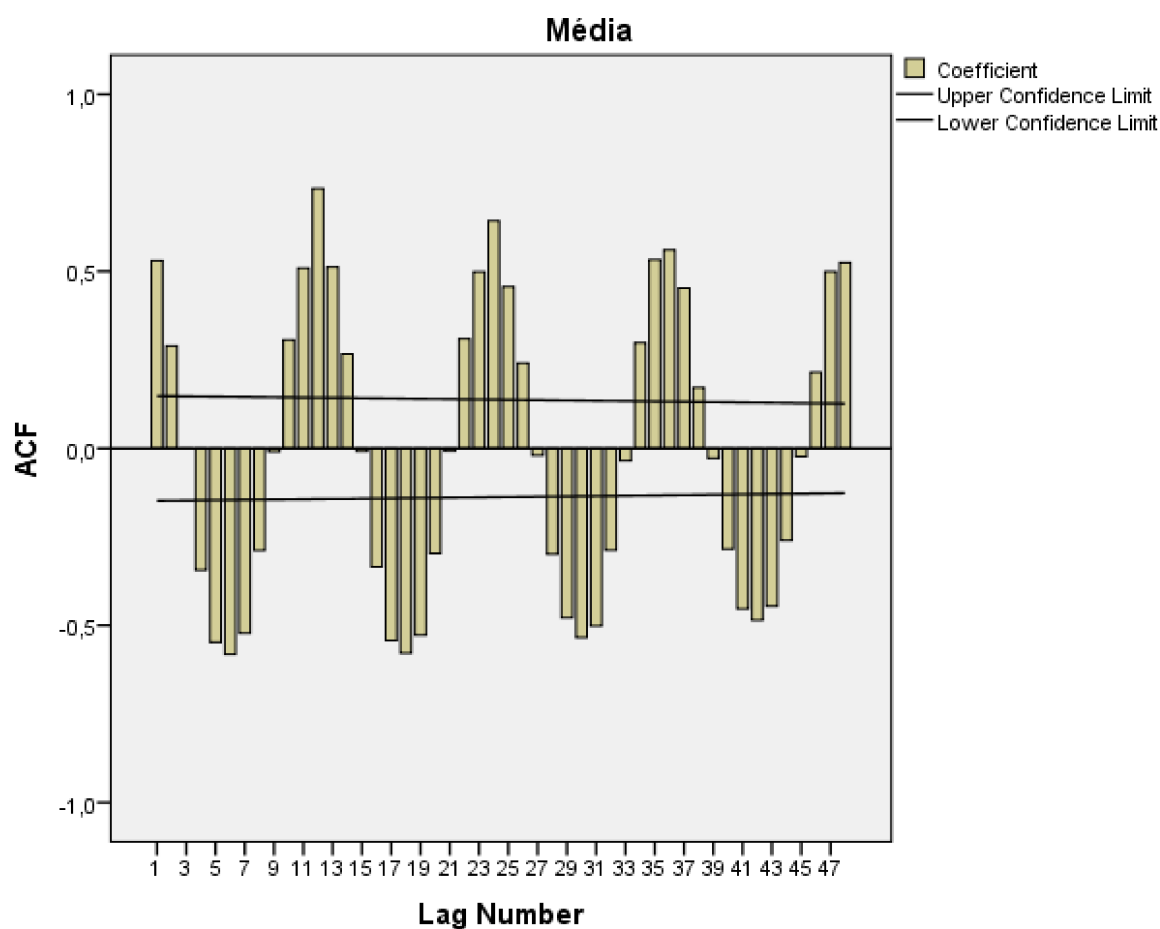


Figura 7. Função de autocorrelação para a série de precipitações pluviiais mensais, para a média mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

4.5 Ajuste de modelo – Média mensal

A série com as precipitações mensais, mostrada na figura 6, não apresenta tendência, apenas a indução de sazonalidade aditiva. O modelo ajustado, para a variável média mensal foi o modelo sazonal simples (Tabela 7).

Tabela 7. Modelo sazonal simples da série de precipitações pluviiais mensais, para a média mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Modelo	Parâmetros	Estimativa	Erro padrão
Sazonal simples	Nível	0,099	0,045
	Sazonalidade	5,737E-006	0,037

As estimativas dos parâmetros do modelo sazonal simples foram 0,099 para o nível e $5,737\text{E-}6$ para a sazonalidade (Tabela 7).

Tabela 8. Estatísticas do modelo sazonal simples da série de precipitações pluviais mensais, para a média mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Estatísticas	Média
R^2 estacionário	0,672
R^2	0,703
MAE	1,772
BIC normalizado	1,794

O modelo ajustado tem $R^2 = 0,672$ (Tabela 8) e não possui Outliers (Tabela 9). O p-valor de Ljung-Box foi 0,187 mostrando que não apresenta autocorrelação nos resíduos, o que pode ser visualizado pelas funções de autocorrelação dos resíduos na figura 8. A tabela 8 mostra ainda um pequeno erro absoluto médio (MAE) para o modelo ajustado.

Tabela 9. Estatísticas do modelo sazonal simples da série de precipitações pluviais mensais, para a média mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Modelo	Ljung-Box			Número de Outliers
	Estatística	DF	Sig.	
Sazonal simples	20,795	16	0,187	0

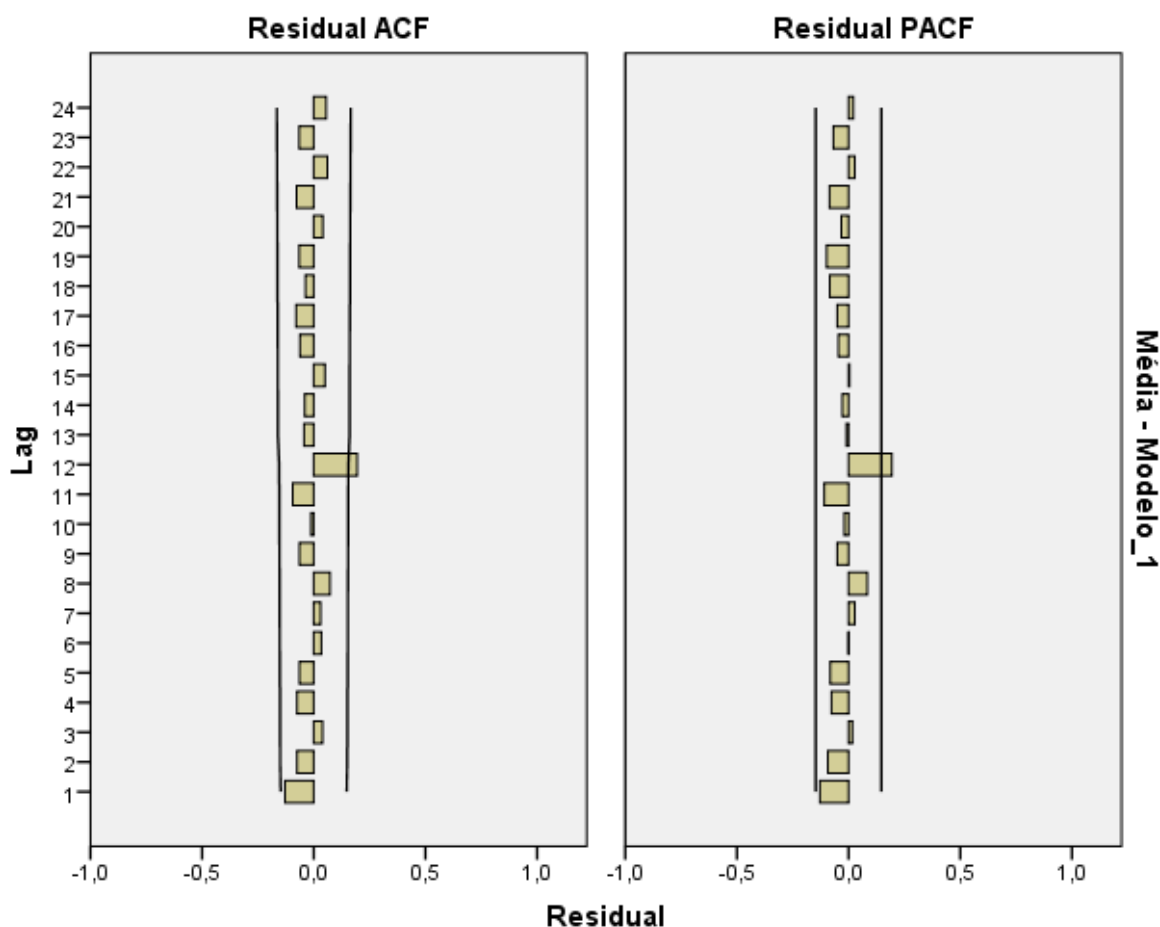


Figura 8. Função de autocorrelação dos resíduos para a série de precipitações pluviais mensais, para a média mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

4.6 Previsões – Média mensal

O modelo sazonal simples ajustado para o total mensal gerou previsões para 2015 (Tabela 10). Observamos que nos meses de janeiro a maio os valores das previsões são positivos e, de forma geral, decrescentes e é o que acontece também com os índices pluviométricos na região onde os dados foram coletados. Nos meses de junho, julho e agosto as previsões foram negativas, sendo na realidade nulas ou muito próximas de zero. A partir do mês de setembro os índices de média mensal pluviométricos previstos são crescentes até o final de 2015.

A Figura 9 mostra a série observada, a série ajustada e a prevista para o ano de 2015.

Tabela 10. Previsões da série de precipitações pluviiais mensais e valores observados de janeiro a novembro, para a média mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no ano 2015, em milímetros d'água.

Mês/Ano	Jan 2015	Fev 2015	Mar 2015	Abr 2015	Mai 2015	Jun 2015
Previsões	9,1697	6,8038	6,9132	2,0045	0,2820	-0,4822
Superior	13,8701	11,5272	11,6596	6,7737	5,0739	4,3323
Inferior	4,4694	2,0804	2,1669	-2,7646	-4,5098	-5,2966
Observado	2,40	9,20	7,60	4,60	2,80	0,00
Mês/Ano	Jul 2015	Ago 2015	Set 2015	Out 2015	Nov 2015	Dez 2015
Previsões	-0,3513	-0,3653	1,3078	2,1046	5,6769	9,6767
Superior	4,4857	4,4941	6,1895	7,0084	10,6028	14,6246
Inferior	-5,1883	-5,2246	-3,5738	-2,7992	0,7510	4,7288
Observado	0,00	0,00	1,10	2,10	6,60	-

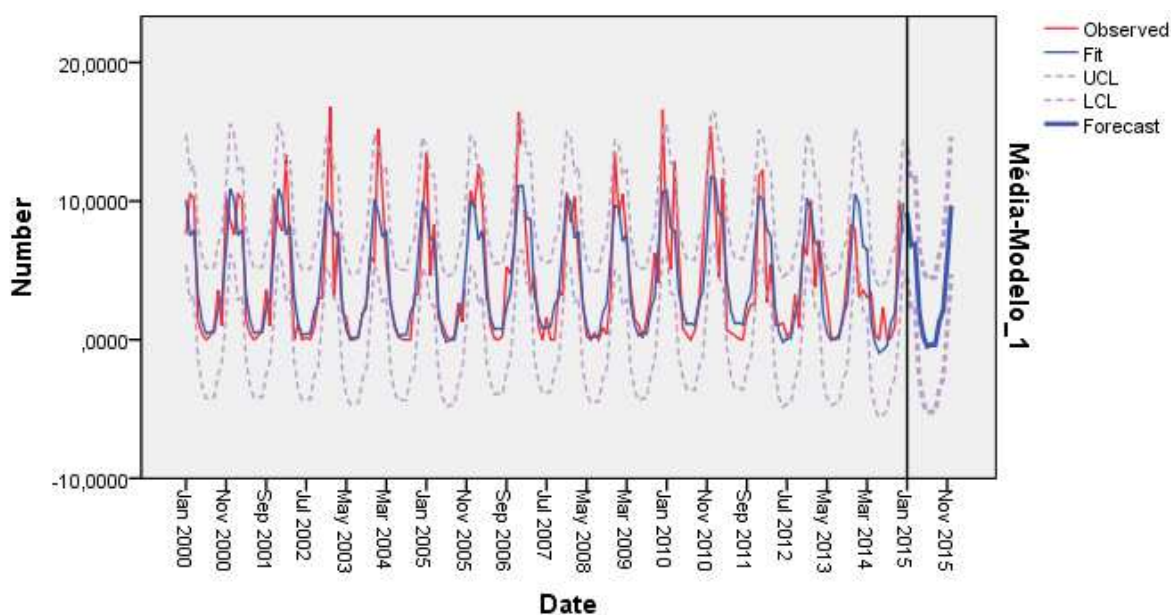


Figura 9. Previsões para 2015, série de precipitações pluviiais mensais, para a média mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Os valores observados de janeiro a novembro de 2015 (Tabela 10) estão plotados no mesmo gráfico (Figura 10) das previsões para este ano. Estes valores estão dentro do intervalo de confiança das previsões para o referido ano, mostrando que o modelo é adequado para a série da média mensal.

O valor observado para o mês de janeiro, assim para o total mensal, aparece novamente fora do intervalo de confiança das previsões, isto é, o valor previsto para este mês é maior do que o observado. Como foi dito anteriormente, a estiagem ocorrida no mês de janeiro de 2015, atípica para região neste mês, foi captada pela média das precipitações pluviométricas e teve impacto sobre as culturas locais do café, ruim por ser época do enchimento dos grãos e boa para a colheita de feijão, a qual necessita de período seco.

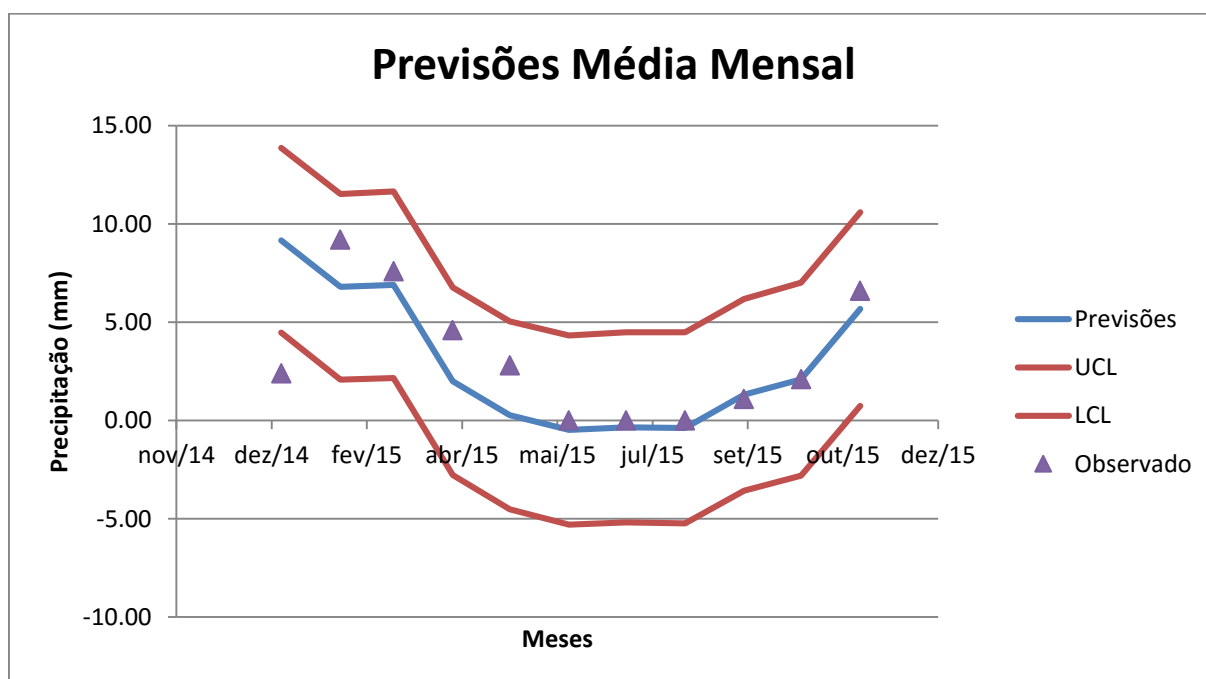


Figura 10. Previsões de janeiro a novembro de 2015, série de precipitações pluviométricas mensais, para a média mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

O comportamento relativamente parecido da série de médias mensais com total mensal era esperado tendo em vista que as duas provêm das mesmas informações e as pequenas alterações que ocorrem no modelo se deve ao fato de se considerar 30 ou 31 dias mensais ou ainda 28 ou 29 dias para o mês de fevereiro.

4.7 A série – Máximo mensal

A série em estudo, para o máximo mensal, possui um Outlier no mês de dezembro de 2014, para o presente estudo este Outlier foi retirado.

A Figura 11 mostra a série para o máximo mensal, sugerindo a presença da componente sazonal com periodicidade anual e ausência da componente tendência. A variação sazonal mantém-se aproximadamente inalterada, não demonstrando a presença de efeitos multiplicativos, sugerindo que a série possa assumir a forma aditiva.

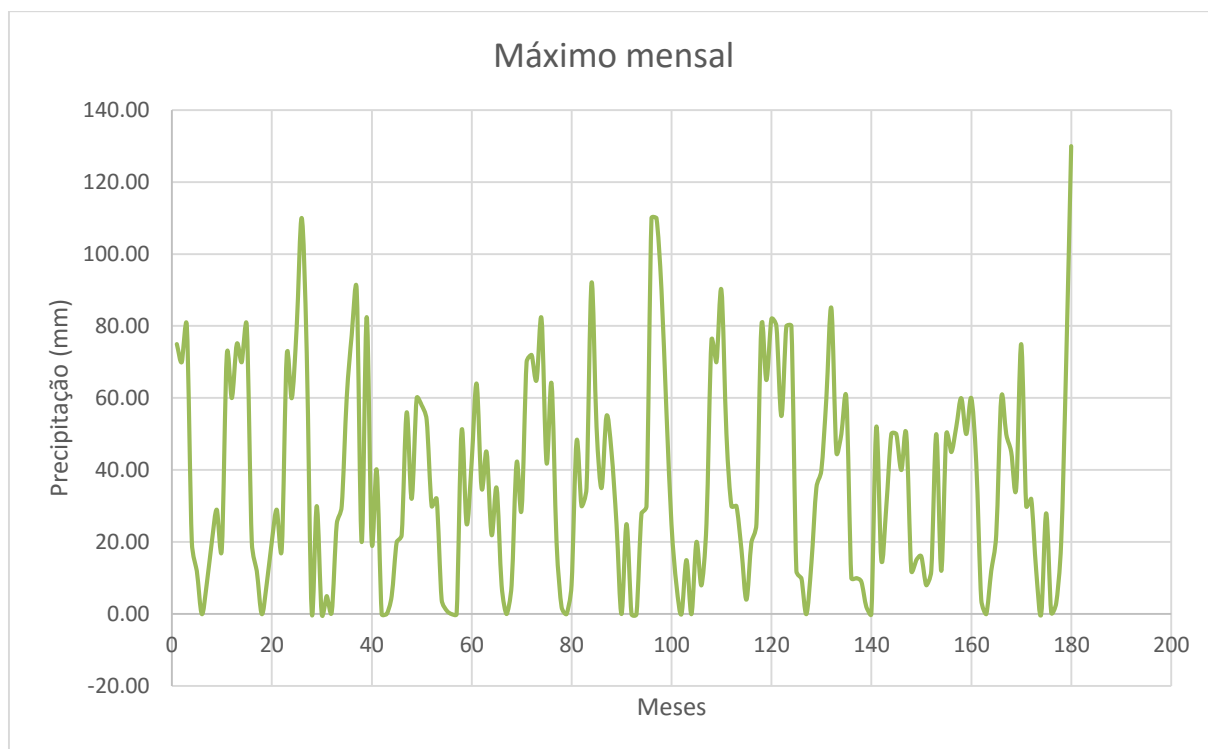


Figura 11. Representação gráfica das precipitações pluviais mensais, para o máximo mensal, em milímetros d'água, Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014.

Comparando a Figura 1 com a Figura 11, nota-se por exemplo que em dezembro de 2014, ocorreu uma precipitação máxima de 130 mm e a precipitação total mensal foi de 250 mm, ou seja, em um único dia do mês de dezembro choveu a metade do valor total mensal e, provavelmente, este fato fez com que este valor fosse considerado um valor atípico na série. Entretanto, observa-se ainda picos relevantes de precipitação ao longo da série, mostrando que mesmo dentro do período chuvoso a precipitação pode ser mal distribuída ao longo do mês, com grandes volumes concentrados em poucos dias, prejudicando a cultura do café.

Este fato ressalta a importância de se conhecer não só o comportamento médio ou total, mas que na atividade agrícola observações detalhadas também devem ser estudadas, como é o caso do máximo. Em estudos relacionados com irrigação geralmente são avaliados os decis da precipitação visando a adoção ou não de complementação de água pela técnica de irrigação.

Os fatores sazonais (Tabela 11) mostram que nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro a precipitação, para a máxima mensal, foi acima da média da máxima anual e nos meses de abril a outubro a precipitação média da máxima foi abaixo da média da máxima anual, comportamento este semelhante aos casos anteriores.

Tabela 11. Fatores sazonais para a série de precipitações pluviiais mensais, para o máximo mensal, em milímetros d'água, Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014.

Meses	Fatores sazonais
Janeiro	29,8740
Fevereiro	25,7312
Março	21,3666
Abril	-4,0263
Maio	-13,1334
Junho	-31,3358
Julho	-31,1691
Agosto	-28,0293
Setembro	-8,0739
Outubro	-4,8180
Novembro	13,6463
Dezembro	29,9678

Na função de autocorrelação da série de precipitações (Figura 12), podemos observar que existem picos nos “lags” múltiplos de 12, o que indica que é uma série com sazonalidade anual.

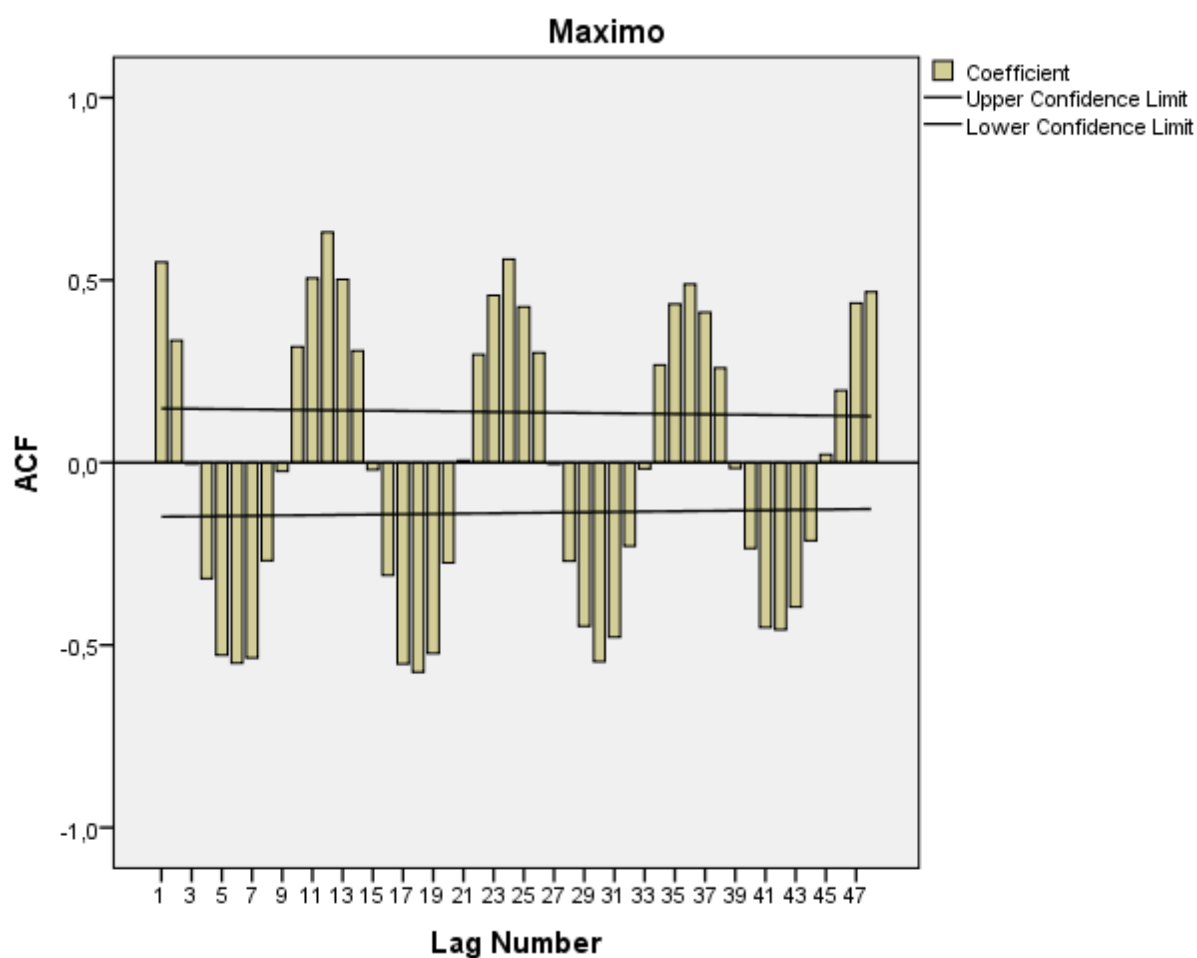


Figura 12. Função de autocorrelação para a série de precipitações pluviiais mensais, para o máximo mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

4.8 Ajuste de modelo – Máximo mensal

A série com as precipitações mensais, mostrada na Figura 11, não apresenta tendência, apenas a indução de sazonalidade aditiva. O modelo ajustado, para a variável máximo mensal foi o modelo sazonal simples (Tabela 12).

Tabela 12. Modelo sazonal simples da série de precipitações pluviiais mensais, para o máximo mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Modelo	Parâmetros	Estimativa	Erro padrão
Sazonal simples	Nível	0,100	0,039
	Sazonalidade	2,206E-5	0,042

As estimativas dos parâmetros do modelo sazonal simples foram 0,039 para o nível e $2,206E-5$ para a sazonalidade (Tabela 12).

Tabela 13. Estatísticas do modelo sazonal simples da série de precipitações pluviais mensais, para o máximo mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Estatísticas	Média
R^2 estacionário	0,702
R^2	0,644
MAE	12,996
BIC normalizado	5,714

O modelo ajustado tem $R^2 = 0,702$ (Tabela 13), erro médio absoluto de 12,996; BIC de 5,714 e não possui Outliers (Tabela 14). O p-valor de Ljung-Box foi 0,667 mostrando que não apresenta autocorrelação nos resíduos, o que pode ser visualizado pelas funções de autocorrelação dos resíduos na Figura 13.

Tabela 14. Estatísticas do modelo sazonal simples da série de precipitações pluviais mensais, para o máximo mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Modelo	Ljung-Box			Número de Outliers
	Estatística	DF	Sig.	
Sazonal simples	13,080	16	0,667	0

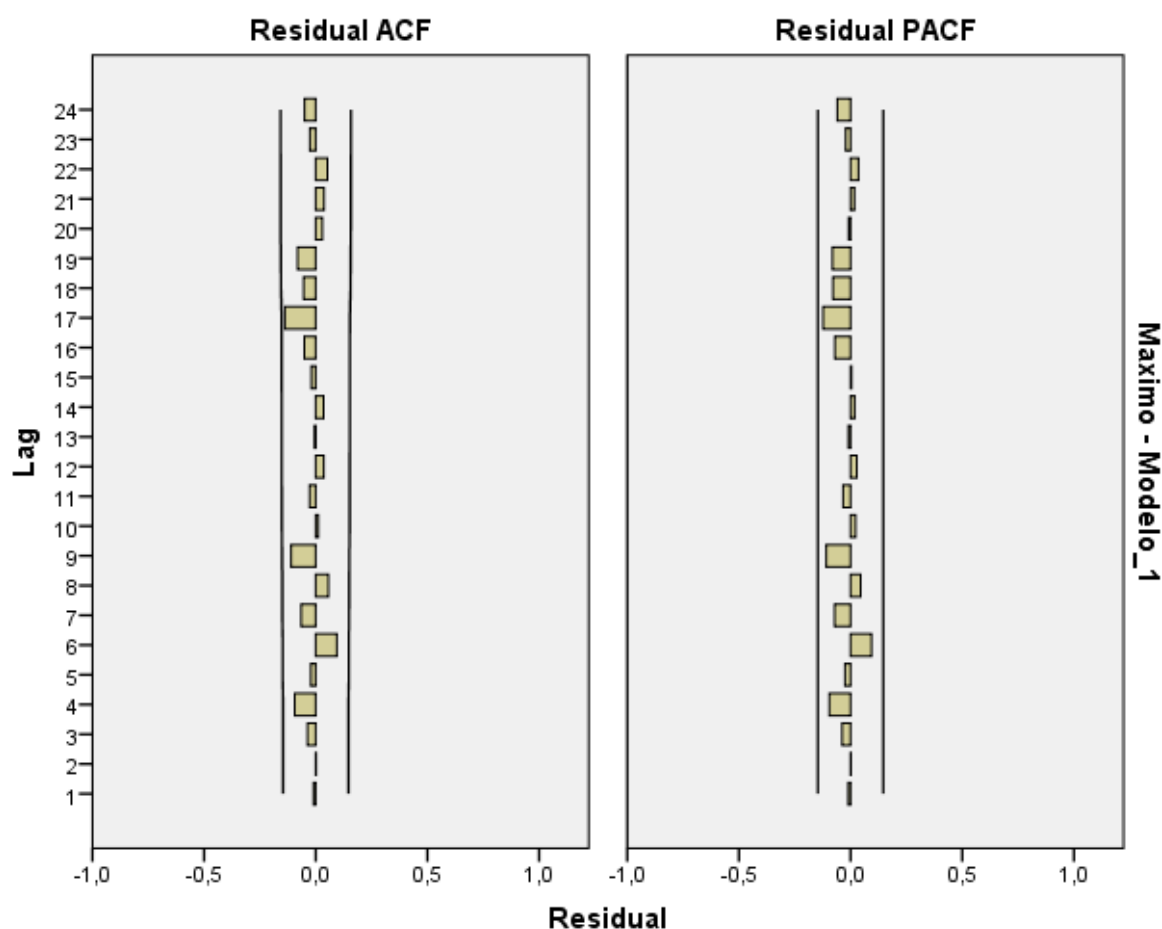


Figura 13. Função de autocorrelação dos resíduos para a série de precipitações pluviiais mensais, para o máximo mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

4.9 Previsões – Máximo mensal

O modelo sazonal simples ajustado para o máximo mensal gerou previsões para o ano de 2015 (Tabela 15). Observamos que todas as previsões são positivas, com valores de precipitações decrescentes até junho e crescentes de julho até dezembro. Isto acontece também com os índices pluviométricos na região onde os dados foram coletados, ressaltando que nos meses de junho, julho e agosto as observações são na maioria nulas, pois é uma época de estiagem, necessária para secagem do café na Fazenda Esmeril.

Tabela 15. Previsões da série de precipitações pluviiais mensais e os valores observados de janeiro a novembro, para o máximo mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no ano 2015, em milímetros d'água.

Mês/Ano	Jan 2015	Fev 2015	Mar 2015	Abr 2015	Mai 2015	Jun 2015
Previsões	63,8	59,6	56,1	28,3	19,3	1,7
UCL	97,4	93,3	89,9	62,3	53,5	36,0
Superior	30,3	25,9	22,2	-5,7	-14,9	-32,7
Inferior	22,00	50,00	40,00	42,00	30,00	0,50
Mês/Ano	Jul 2015	Ago 2015	Set 2015	Out 2015	Nov 2015	Dez 2015
Previsões	3,9	4,9	23,6	27,7	48,3	63,3
Superior	38,5	39,6	58,4	62,7	83,4	98,6
Inferior	-30,6	-29,7	-11,2	-7,3	13,1	28,0
Observado	0,00	0,00	18,00	30,00	50,00	-

A Figura 14 mostra os gráficos da série observada, da série ajustada e da prevista para o ano de 2015 e os limites do intervalo de confiança.

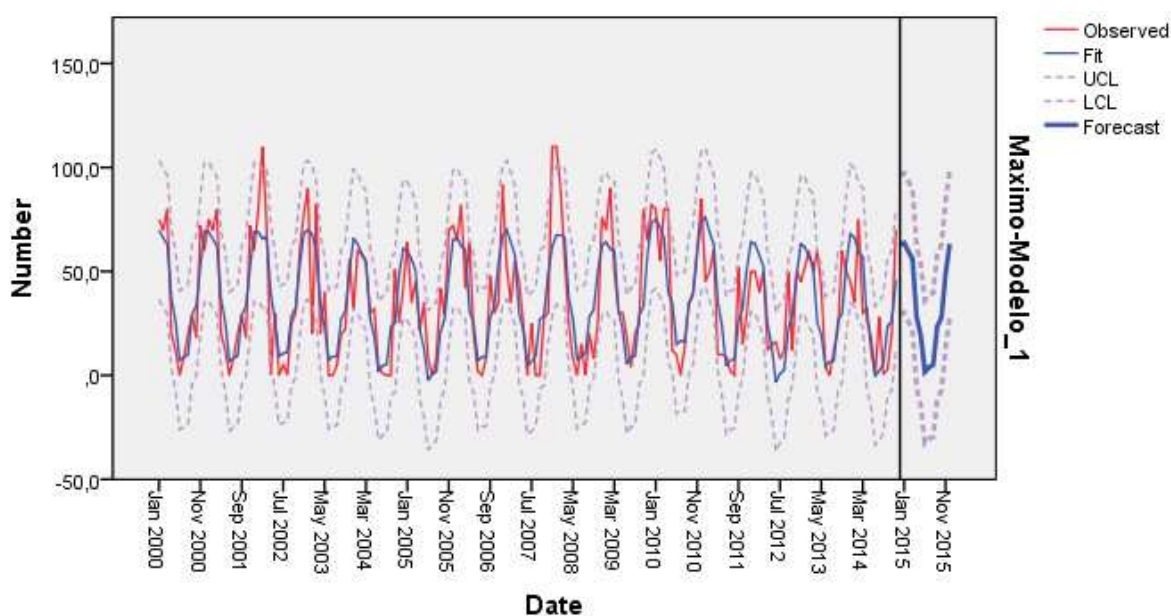


Figura 14. Previsões para 2015, série de precipitações pluviiais mensais, para o máximo mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

FERRAZ (1999) também conseguiu ajustar modelos sazonais para séries temporais e obter estimativas de previsão.

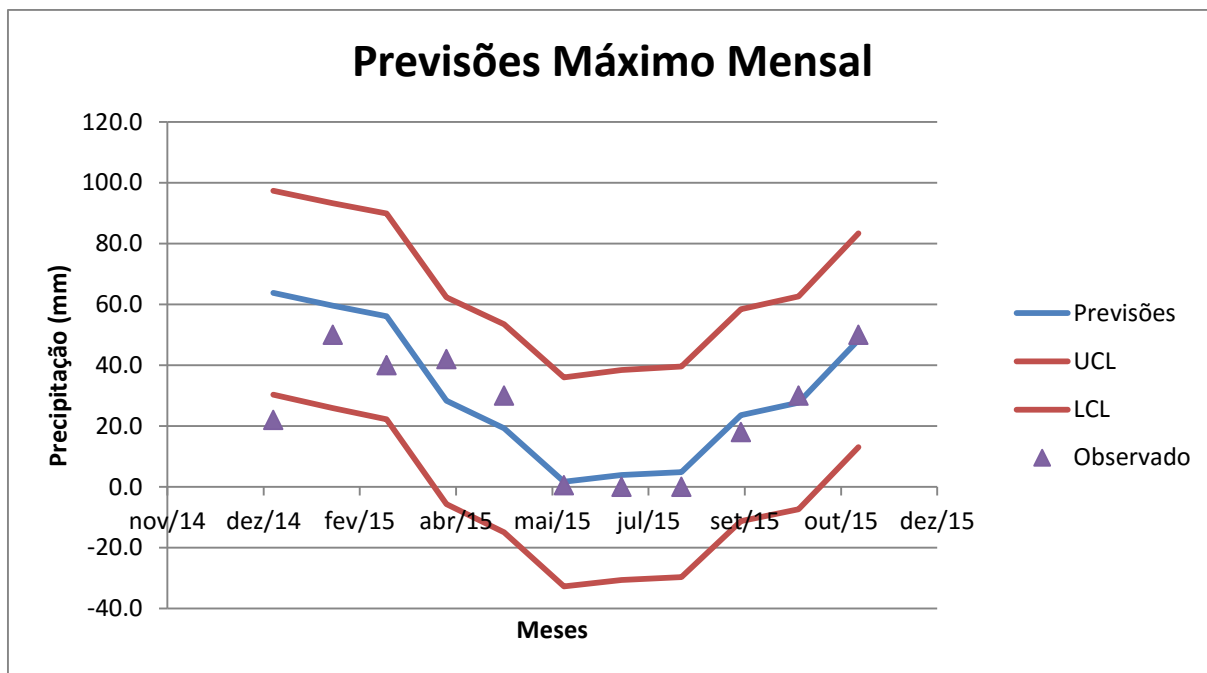


Figura 15. Previsões de janeiro a novembro de 2015, série de precipitações pluviométricas mensais, para o máximo mensal, na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014, em milímetros d'água.

Pode-se visualizar no gráfico (Figura 15) boas previsões, para o máximo mensal, da série de precipitações pluviométricas.

A estiagem do mês de janeiro na região da Fazenda Esmeril, como já foi dito, fez o valor observado para este mês ficar fora do intervalo de confiança da previsão para este mês. Os outros meses, da primeira metade do ano de 2015, parecem ter sido influenciados pela estiagem de janeiro, pois as precipitações observadas para estes meses não estão tão próximas das previstas como na segunda metade do referido ano.

5 CONCLUSÃO

A partir das análises feitas neste trabalho, chegou-se as seguintes conclusões:

1. Modelos com sazonalidade anual são capazes de explicar e prever o comportamento da precipitação mensal na Fazenda Esmeril contribuindo com o manejo agrícola do café.
2. O modelo sazonal simples aplicado a série para o total, para a média e para o máximo da precipitação mensal, obteve boas previsões.
3. Ficou evidente, neste trabalho, que os modelos de séries temporais podem ser usados para prever as precipitações pluviais na Fazenda Esmeril.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M. F. C. et al. Precipitação pluviométrica mensal no estado do rio de janeiro: sazonalidade e tendência. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 90-100, Jul./Ago. 2009.

EXCEL for Windows. 2013 Microsoft Corporation.

FERRAZ, Marcelo Inácio Ferreira. **Uso de modelos de séries temporais na previsão da série de precipitação pluviais mensais no município de Lavras-MG**. 1999. 97p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Curso de Pós-graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

IBM Corp. 2011. Lançado IBM SPSS Statistics for Windows, versão 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.

SILVA, M.I.S. et al. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.12, n.5, p.480-485, jan. 2008.

MORETTIN, P.A. e TOLOI, C.M.C. **Análise de séries temporais**. 2 ed. revista e ampliada. São Paulo: Blucher, 2006.

STEVENSON, W. J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harbra, 1981. 516p.

ANEXO

Tabela 1 – Série de precipitações pluviométricas, totais mensais na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014.

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2000	144.5	304.5	316.0	40.5	13.0	0.0	8.5	25.0	107.5	31.0	309.0	265.0
2001	164.0	70.5	112.5	75.0	24.0	0.0	10.0	70.0	66.5	90.0	231.0	423.0
2002	244.0	372.5	196.0	0.5	35.0	0.0	5.0	0.5	25.5	93.0	90.0	261.0
2003	520.5	88.0	242.5	60.0	48.0	0.0	0.0	8.5	54.0	72.5	181.0	172.0
2004	471.5	313.5	166.0	83.0	38.0	7.0	1.0	0.0	0.0	100.0	100.0	250.0
2005	418.0	129.0	257.5	46.0	35.0	8.0	0.0	8.0	80.0	40.0	521.5	333.0
2006	295.5	354.0	308.0	136.0	32.0	2.5	0.0	8.0	158.0	147.0	203.0	509.5
2007	621.5	196.0	101.0	139.0	28.0	0.0	50.0	0.0	0.0	111.0	96.0	329.0
2008	262.0	299.0	177.0	83.0	8.0	0.0	15.0	0.0	25.0	12.5	97.0	420.0
2009	280.0	294.0	224.0	111.0	44.5	32.0	4.0	43.0	92.0	193.0	123.0	515.0
2010	220.0	147.0	399.0	188.0	25.0	11.0	0.0	20.0	70.0	211.0	347.0	478.0
2011	324.0	126.0	361.0	20.0	16.0	9.0	2.0	0.0	52.0	78.0	78.0	365.0
2012	379.5	75.5	170.0	32.0	33.0	36.0	8.0	17.0	97.0	26.5	208.0	183.0
2013	311.5	106.0	223.0	148.0	88.0	4.0	0.0	12.0	42.0	138.0	250.0	238.0
2014	96.5	100.0	95.0	101.0	12.0	0.0	72.0	0.5	4.5	31.5	298.0	239.5

Fonte: O autor.

Tabela 2 – Série de precipitações pluviométricas, médias mensais na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014.

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2000	7.61	10.50	10.19	1.35	0.42	0.00	0.27	0.81	3.58	1.00	10.30	8.55
2001	5.29	2.52	3.63	2.50	0.77	0.00	0.32	2.26	2.22	2.90	7.70	13.65
2002	7.87	13.30	6.32	0.02	1.13	0.00	0.16	0.02	0.85	3.00	3.00	8.42
2003	16.79	3.14	7.82	2.00	1.55	0.00	0.00	0.27	1.80	2.34	6.03	5.55
2004	15.21	10.81	5.35	2.77	1.23	0.23	0.03	0.00	0.00	3.23	3.33	8.06
2005	13.48	4.61	8.31	1.53	1.13	0.27	0.00	0.26	2.67	1.29	17.38	10.74
2006	9.53	12.64	9.94	4.53	1.03	0.08	0.00	0.26	5.27	4.74	6.77	16.44
2007	20.05	7.00	3.26	4.63	0.90	0.00	1.61	0.00	0.00	3.58	3.20	10.61
2008	8.45	10.31	5.71	2.77	0.26	0.00	0.48	0.00	0.83	0.40	3.23	13.55
2009	9.03	10.50	7.23	3.70	1.44	1.07	0.13	1.39	3.07	6.23	4.10	16.61
2010	7.10	5.07	12.87	6.27	0.81	0.37	0.00	0.65	2.33	6.81	11.57	15.42
2011	10.45	4.50	11.65	0.67	0.52	0.30	0.06	0.00	1.73	2.52	2.60	11.77
2012	12.24	2.70	5.48	1.07	1.06	1.20	0.26	0.55	3.23	0.85	6.93	6.10
2013	10.05	3.79	7.19	4.93	2.84	0.13	0.00	0.39	1.40	4.45	8.33	7.93
2014	3.11	3.57	3.06	3.37	0.39	0.00	2.32	0.02	0.15	1.02	9.93	7.73

Fonte: O autor.

Tabela 3 – Série de precipitações pluviométricas, máximos mensais na Fazenda Esmeril, município de Patrocínio-MG, no período de 2000 a 2014.

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2000	75.0	70.0	80.0	20.0	12.0	0.0	8.5	20.0	29.0	18.0	72.0	60.0
2001	52.0	30.0	32.0	75.0	22.0	0.0	10.0	40.0	20.0	35.0	50.0	90.0
2002	80.0	110.0	72.5	0.5	30.0	0.0	5.0	0.5	25.0	30.0	60.0	77.5
2003	90.0	20.0	82.5	20.0	40.0	0.0	0.0	5.0	20.0	22.0	56.0	32.0
2004	60.0	58.0	54.0	30.0	32.0	4.0	1.0	0.0	0.0	51.0	25.0	42.0
2005	64.0	35.0	45.0	22.0	35.0	8.0	0.0	8.0	42.0	29.0	70.0	72.0
2006	65.0	82.0	42.0	64.0	20.0	2.0	0.0	8.0	48.0	30.0	35.0	92.0
2007	52.0	35.0	55.0	45.0	25.0	0.0	25.0	0.0	0.0	28.0	30.0	110.0
2008	110.0	90.0	56.0	25.0	8.0	0.0	15.0	0.0	20.0	8.0	25.0	76.0
2009	70.0	90.0	50.0	30.0	30.0	18.0	4.0	20.0	25.0	80.0	65.0	82.0
2010	80.0	55.0	80.0	80.0	12.0	10.0	0.0	14.0	35.0	40.0	60.0	85.0
2011	45.0	50.0	60.0	10.0	10.0	9.0	2.0	0.0	52.0	15.0	30.0	50.0
2012	50.0	40.0	50.0	12.0	15.0	16.0	8.0	12.0	50.0	12.0	50.0	45.0
2013	52.0	60.0	50.0	60.0	42.0	4.0	0.0	12.0	22.0	60.0	50.0	45.0
2014	35.0	75.0	30.0	32.0	12.0	0.0	28.0	0.5	3.0	20.0	70.0	130.0

Fonte: O autor.