

# **INFLUÊNCIA DA ATIVIDADE SOLAR NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Vítor Feitosa Côrte – vfcorte@yahoo.com.br

Adriana Benetti Marques Valio (Orientadora) – adrivalio@gmail.com

## **RESUMO**

Este trabalho investiga a correlação da atividade solar com os níveis de vazão do rio da usina hidrelétrica de Itaipú, e conseqüentemente, com a geração de energia da mesma. Os dados de vazão foram retirados do site do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), e os dados referentes ao número de manchas solares foram obtidos no site da Silso (Sunspot Index and Long-term Solar Observations). O intervalo de dados utilizados foi de 1999 a 2019 (20 anos, aproximadamente 2 ciclos solares). Além das correlações dos dados, foram feitas pesquisas bibliográficas para conhecer a estrutura solar, os ciclos solares, sua relação com a Terra e como isso pode afetar a formação de nuvens e precipitação.

Palavras-chave: Ciclo Solar. Usina hidrelétrica. Correlação de Pearson.

## **INFLUENCE OF SOLAR ACTIVITY ON ELECTRIC POWER GENERATION**

### **ABSTRACT**

This thesis investigates the correlation of solar activity with the stream flow levels of Itaipú's hydroelectric plant, and consequently, with its energy generation. The flow data were taken from the ONS (National Electric System Operator) website, and the sunspot number data were obtained from the Sunspot Index and Long-Solar Solar Observations (Silso) website. The data range used was from 1999 to 2019 (20 years, approximately 2 solar cycles). In addition to the correlations of the data, bibliographic searches were made to know the solar structure, solar cycles, their relationship with the Earth and how this can affect cloud formation and precipitation.

Keywords: Solar Cycles. Hydroelectric Plant. Pearson correlation.

### **1 INTRODUÇÃO**

Devido à grande presença e importância da energia elétrica nos dias de hoje, se torna necessário entender quais fatores podem influenciar a geração da mesma.

Sabe-se que uma usina hidrelétrica depende basicamente da vazão de água para girar as turbinas que irão gerar energia. Essa vazão (quantidade de água que atravessa o rio em determinado período de

tempo) depende predominantemente do clima do local. Nesse trabalho será analisada uma base de dados de vazões da usina de Itaipú durante um período de aproximadamente 20 anos (de janeiro de 1999 a setembro de 2019).

De acordo com a *American Meteorological Society* (AMS): “O clima espacial refere-se às condições variáveis no Sol e no ambiente espacial que podem influenciar o desempenho e a confiabilidade dos sistemas tecnológicos espaciais e terrestres, bem como podem afetar a vida ou a saúde humana”, ou seja, é primordialmente controlado pela atividade solar. Um ciclo solar completo tem aproximadamente 11 anos, e nesse período o Sol passa por um máximo e um mínimo de atividade. Existem diversas formas de a atividade solar interferir no clima espacial, e os impactos na Terra podem ser sentidos em serviços via satélite, sistemas tecnológicos e também na biosfera terrestre, incluindo impactos ambientais.

“Alguns fenômenos terrestres parecem ser influenciados pelas variações da atividade solar em períodos curtos e longos. ” (DURO, 2013, p.3). Foram feitas inúmeras pesquisas a respeito desses fenômenos, para que seja possível entender as mudanças no clima terrestre em função da atividade solar. A ocorrência de ciclones e a transmissão de energia elétrica já foram relacionadas à atividade solar por diferentes pesquisadores, como o meteorologista britânico Meldrum, na Índia, que considerou o número de ocorrências de ciclones na Índia no período de 1847 a 1873 e o correlacionou com o número de manchas solares no mesmo período; e a Engenheira Magda Duro, que relacionou a ocorrência de explosões solares/ejeções de massa com falhas na transmissão de Energia Elétrica na região Sudeste do Brasil. Em ambos os casos foram encontradas fortes correlações, sugerindo uma possível relação entre a atividade solar e ciclones na Índia e a atividade solar interferindo na transmissão de energia elétrica no Brasil. Compreender esse tipo de relação possibilita uma previsão para ciclones e possíveis falhas na transmissão de energia, que podem ocasionar impactos sociais e econômicos.

Existem outros estudos realizados sobre a atividade solar e como ela influencia o planeta Terra. Atualmente, uma das maiores preocupações está relacionada à geração de energia. Ela é afetada diretamente pelo clima terrestre, que está relacionado com a atividade solar e fenômenos que nele ocorrem. Portanto, é de suma importância entendê-los, para que seja possível otimizar a geração de energia e até mesmo se precaver de possíveis secas ou épocas de cheia. Os estudos se tornam ainda mais importantes devido à dependência que a sociedade vem desenvolvendo em sistemas tecnológicos (a grande maioria depende da energia elétrica para funcionar), como os que envolvem telecomunicações, geração, transmissão e distribuição de energia, equipamentos médicos, GPS, entre outros.

Dito isto, têm-se a ideia de, com este trabalho, contribuir para um melhor entendimento da relação Sol-Terra, relacionada ao nível de vazão de uma Usina Hidrelétrica, tendo em vista que a mesma sofre grande interferência do clima/precipitação.

## 2 O SOL

O ser humano habita o único planeta com vida no Sistema Solar. A Terra preenche uma extensa lista de “pré-requisitos” necessários para que haja vida em determinado lugar no universo, e o mais importante deles é sua relação com o Sol: o planeta está na distância exata para que não seja muito quente nem muito frio. A estrela que dá nome ao Sistema Solar funciona como a mais importante fonte de energia do planeta Terra. Entender de onde vem essa energia é fundamental.

A importância do Sol é mostrada naturalmente ao homem a partir do momento em que ele adquire consciência para distinguir o dia da noite, logo quando criança. Muitas das civilizações antigas o adoravam como um deus. Seja pelo seu brilho, pelo seu tamanho, ou pelo simples fato de estar presente no céu do planeta Terra, o Sol sempre foi alvo de muita curiosidade e observação. Atualmente, sabe-se que o Sol é uma estrela entre aproximadamente  $10^{11}$  estrelas em nossa galáxia.

Localizado a aproximadamente 149.600.000 km da Terra, o Sol tem uma massa de  $1,989 \times 10^{30}$  kg, e é composto basicamente de hidrogênio (75%) e de hélio (25%). Seu raio mede 695.000 km, cerca de 109 vezes o raio terrestre. A temperatura na sua superfície fica em torno de 5785 K, enquanto no seu núcleo ela pode atingir os 15.000.000 K.

Em 1673, Jean Richer e Giovanni Domenico Cassini determinaram a distância entre o Sol e a Terra. Em seguida, foi possível determinar sua luminosidade, que é a potência que ele produz. Chegou-se em um valor chamado de constante solar, que varia de 1.364,55 a 1.367,86 W/m<sup>2</sup>, dependendo da época no ciclo. Essa quantidade de energia equivale a mais de 10 milhões de vezes a produção anual de petróleo da Terra. No século XIX foi descartada a possibilidade dessa energia ser gerada por combustão, pois dessa forma o Sol brilharia por apenas 10 mil anos. O colapso gravitacional, fonte de energia proposta por Herman Ludwig também não se mostrou eficiente, já que ela supriria a luminosidade do Sol por 20 milhões de anos e sabe-se que ele tem uma idade de 4,5 bilhões de anos (assim como a Terra).

“Em 1937 Hans Albrecht Bethe (1906-2005) propôs a fonte hoje aceita para a energia do Sol: as reações termo-nucleares.” (FILHO, 2019, não paginado). Quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio, onde a diferença de massa do sistema depois da fusão é liberada em forma de energia. Um total de 600 milhões de toneladas de hidrogênio é transformado em hélio a cada segundo no núcleo solar.

O Sol é dividido em duas regiões: interior (que vai do centro até sua superfície) e atmosfera. O interior é dividido em camadas: o núcleo, onde ocorrem as reações termonucleares; a camada

radiativa, onde a energia produzida flui por radiação; e a camada convectiva. Acima da sua superfície, está situada a atmosfera solar, que é dividida em: fotosfera; cromosfera; e coroa.

## 2.1 O INTERIOR DO SOL

O núcleo é a região mais interna do Sol, chegando a 25% do raio solar. Possui cerca de 10% de sua massa, e nele ocorrem as reações nucleares responsáveis pela geração de sua energia. Sua temperatura chega a 15 milhões Kelvin.

Passando o núcleo, a próxima camada é a radiativa. Ela começa onde termina o núcleo, e vai até 70% do raio solar. Essa camada é importante, pois age como um isolante natural e ajuda a manter a temperatura do núcleo. Nela, a energia flui por radiação.

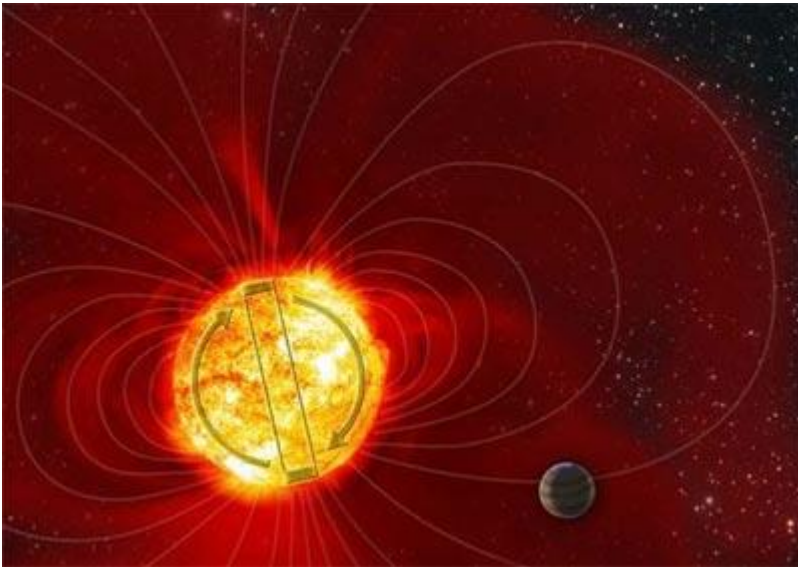
A camada convectiva é a próxima e última camada do interior do Sol. Ela vai de 70% de seu raio até a sua superfície. Sua temperatura é bem menor do que no núcleo, chegando perto dos 10 mil graus Kelvin. A energia na camada convectiva é transportada por convecção.

Entre as camadas radiativas e convectivas existe uma camada muito fina, denominada “tacoclina”. Na parte interna da camada, voltada para a zona radiativa, praticamente não existem fluxos de matéria. Porém, ao atravessá-la, os fluxos igualam-se aos movimentos da camada convectiva. Acredita-se que essa variação brusca na velocidade do plasma seja responsável pela geração do campo magnético solar, por um processo conhecido como dínamo.

## 2.2 CAMPO MAGNÉTICO SOLAR

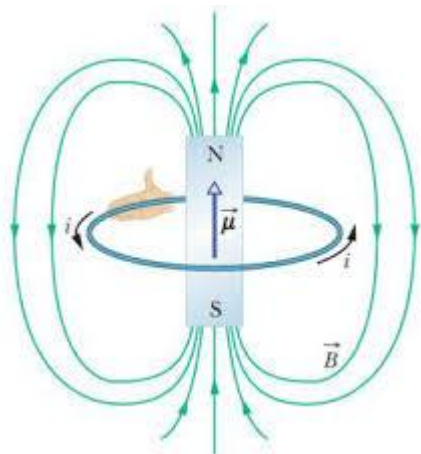
O plasma localizado no interior do Sol se move com velocidade muito grande. Esse movimento faz com que as partículas carregadas gerem uma corrente elétrica. Essa corrente, por sua vez, acaba gerando o campo magnético solar em um processo conhecido como dínamo. As linhas do campo magnético do Sol e sua formação estão esquematizadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 – A imagem mostra como o campo magnético solar preenche o meio interplanetário.



Fonte: [http://www.oarquivo.com.br/images/stories/Geral\\_20/camag3.jpg](http://www.oarquivo.com.br/images/stories/Geral_20/camag3.jpg)

Figura 2 – O esquema representa a formação de linhas de campo magnético de um campo de dipolo representado pela barra com polaridades norte e sul. É possível observar também a corrente elétrica ( $i$ ) que gera esse campo.



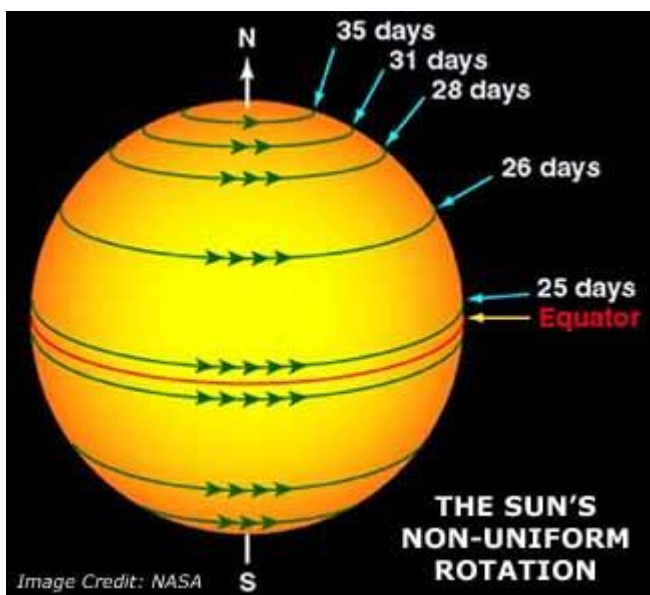
Fonte: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR\\_NMqKt81vuqxZT2k\\_iWx\\_nyzS-RZFxAhS9FPhBaa0Bk3a0DZghw](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR_NMqKt81vuqxZT2k_iWx_nyzS-RZFxAhS9FPhBaa0Bk3a0DZghw)

O campo magnético solar se estende por todo o meio interplanetário. Heliosfera é o nome que se dá à região composta por esse campo. A heliosfera engloba todo o Sistema Solar. Assim como o campo magnético da Terra, o campo magnético do Sol tem sua polaridade invertida (mas em intervalos de tempo muito menores). Enquanto a última inversão geomagnética terrestre ocorreu há

cerca de 780.000 anos, no Sol esse evento ocorre a cada 11 anos. Esse período é denominado ciclo solar.

Assim como a Terra e todos os astros do Sistema Solar, o Sol gira em torno do seu próprio eixo, movimento que é conhecido como rotação (que dura em média 27 dias). Porém, a rotação do Sol não é igual à da Terra: devido à sua composição gasosa, o Sol possui uma rotação diferencial, isto é, ela varia de acordo com a latitude. Quanto menor a latitude (regiões próximas à linha do equador), maior a velocidade da rotação. Uma forma de estudar a rotação diferencial do Sol é acompanhar as manchas solares, que surgem de acordo com o avanço do ciclo solar. A Figura 3 ilustra a diferença de velocidade na rotação do Sol em função da latitude.

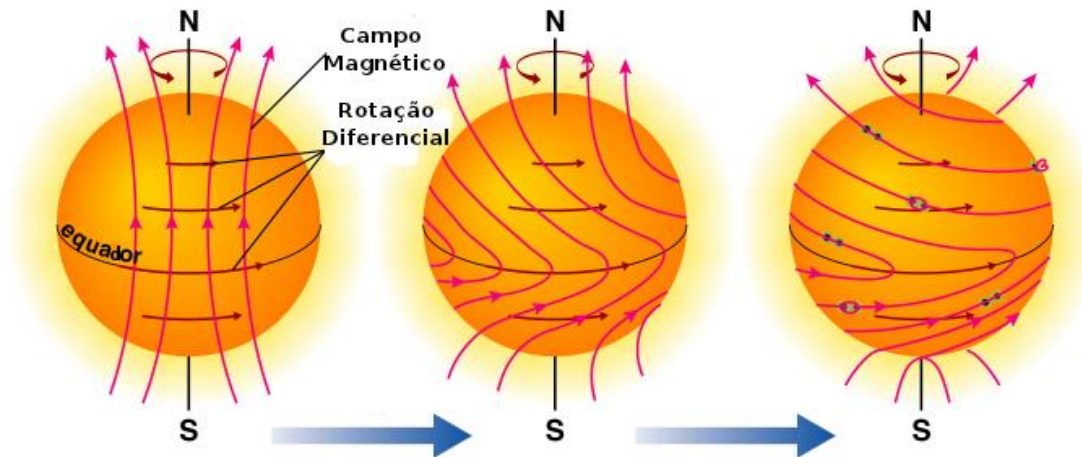
Figura 3 – Representação da rotação diferencial do Sol, onde fica evidente a diferença da sua duração em diferentes latitudes.



Fonte: <https://skymarvels.com/infopages/images/Sun%20Rotation%200001.jpg>

Devido à rotação diferencial, a cada rotação, as linhas de campo magnético do Sol vão sendo esticadas, e nas regiões de médias e baixas latitudes elas ficam praticamente paralelas à linha do equador (no começo do ciclo solar elas estão perpendiculares à linha do equador). De acordo com as interpretações dos estudos relacionados à atividade solar, essa dinâmica pode dar origem às manchas solares. A Figura 8 mostra a evolução das linhas de campo magnético do Sol durante um ciclo solar.

Figura 4 – Sequência de representações das linhas de campo magnético solar dependendo da época do ciclo de atividade. A figura da esquerda é de um período de mínimo, e as linhas de campo estão praticamente perpendiculares à linha do equador. Já na figura



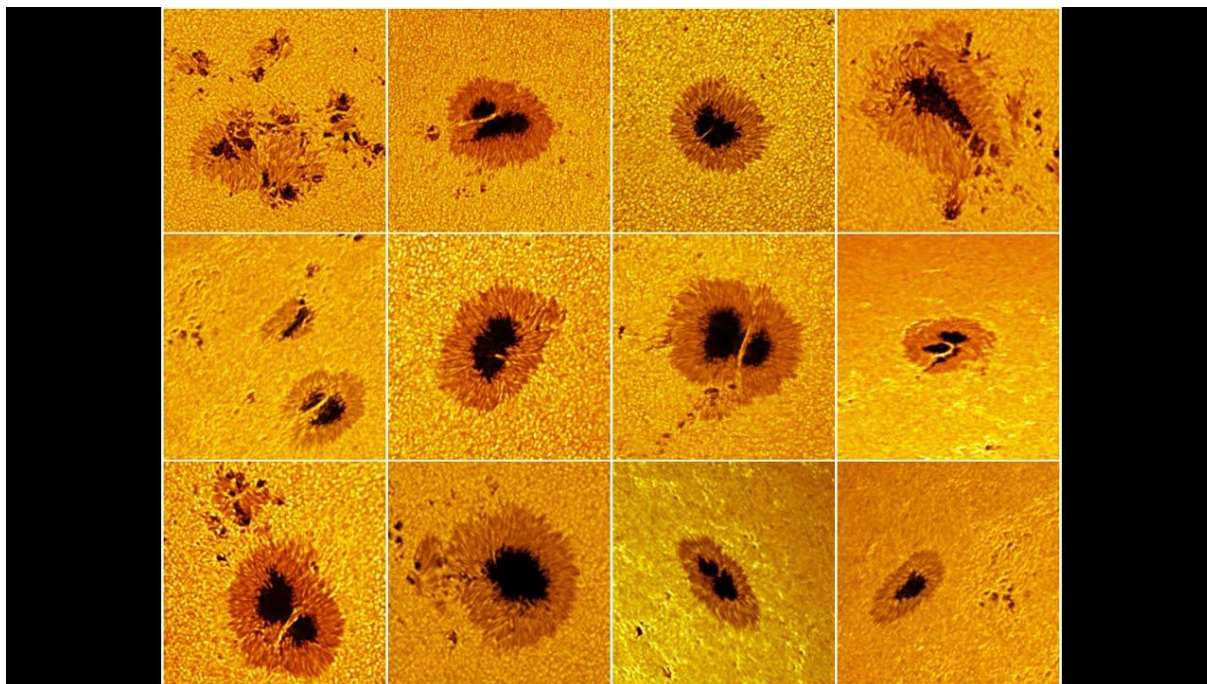
Fonte: <http://astronomia.blog.br/wp-content/uploads/2012/03/solarcycle.jpg>

### 2.3 MANCHAS SOLARES

Na fotosfera, parte visível da atmosfera do Sol, é possível enxergar manchas escuras na sua superfície (Figura 5). Elas são chamadas de manchas solares, e podem surgir ou desaparecer no decorrer de um ciclo solar. Quanto maior a atividade solar, maior o número de manchas solares. No início de um ciclo solar é muito difícil que ocorra alguma mancha solar, o que indica um baixo nível de atividade do Sol. É possível enxergar as manchas solares por causa da diferença de temperatura entre elas e o restante da fotosfera (as manchas são aproximadamente de 1000 a 2000 K mais frias que a fotosfera).

Normalmente as manchas solares ocorrem em pares que correspondem às polaridades magnéticas de um arco, conforme pode ser visto na Figura 9.

Figura 5 – Representação de várias manchas solares (partes mais escuras das imagens). É possível notar que na maioria das vezes elas surgem em pares (opostos magneticamente).



Fonte: <https://i.ytimg.com/vi/SzHPbnpmQwg/maxresdefault.jpg>

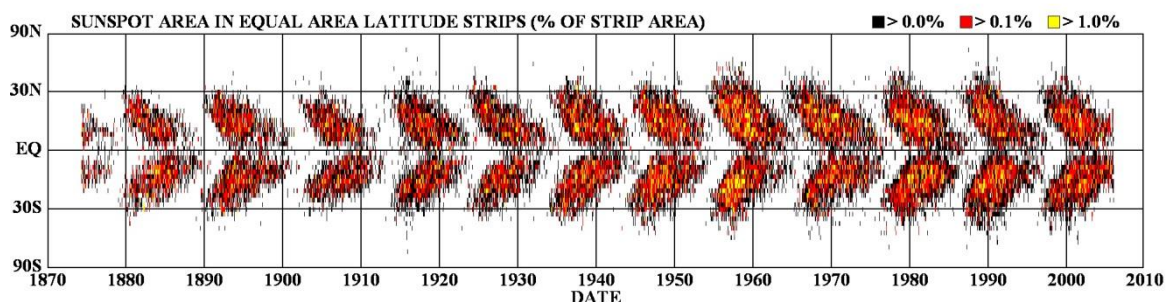
A distorção das linhas do campo magnético do Sol, causada pela sua rotação diferencial (graças à sua superfície gasosa), acaba gerando os chamados tubos de fluxo magnéticos que quando atravessam a superfície solar dão origem às regiões solares ativas, que formam arcos que se estendem até a atmosfera do Sol. Os extremos desses arcos correspondem às manchas solares. Por serem regiões de alta concentração de campo magnético, a convecção de energia vinda da camada abaixo da fotosfera acaba sendo dificultada, e isto causa uma queda na temperatura.

## 2.4 ATIVIDADE SOLAR

Além das manchas solares, ocorrem outros fenômenos energéticos durante o ciclo solar. Os principais deles são: as explosões solares, também conhecidas como *flares*, e as ejeções de massa coronal. Elas variam de acordo com o ciclo solar, coincidindo seus períodos de máximo e mínimo de ocorrência com os períodos de máximo e mínimo das manchas solares. Quando esses eventos estão nos seus períodos de máximo, este período é chamado de período máximo de atividade solar. O diagrama da Figura 6 mostra a latitude da posição de surgimento de manchas solares ao longo dos anos. É conhecido como “Diagrama de Borboleta” e evidencia o ciclo de atividade de 11 anos.



Figura 6 – Representação de manchas solares ocorridas entre 1870 e 2010. Pode-se observar que as manchas começam a surgir em latitudes maiores e vão se aproximando do equador conforme o ciclo avança.



Fonte: [http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Sexas\\_astronomicas/Sexta14/144051main\\_ButterflyDiagramLG.jpg](http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Sexas_astronomicas/Sexta14/144051main_ButterflyDiagramLG.jpg)

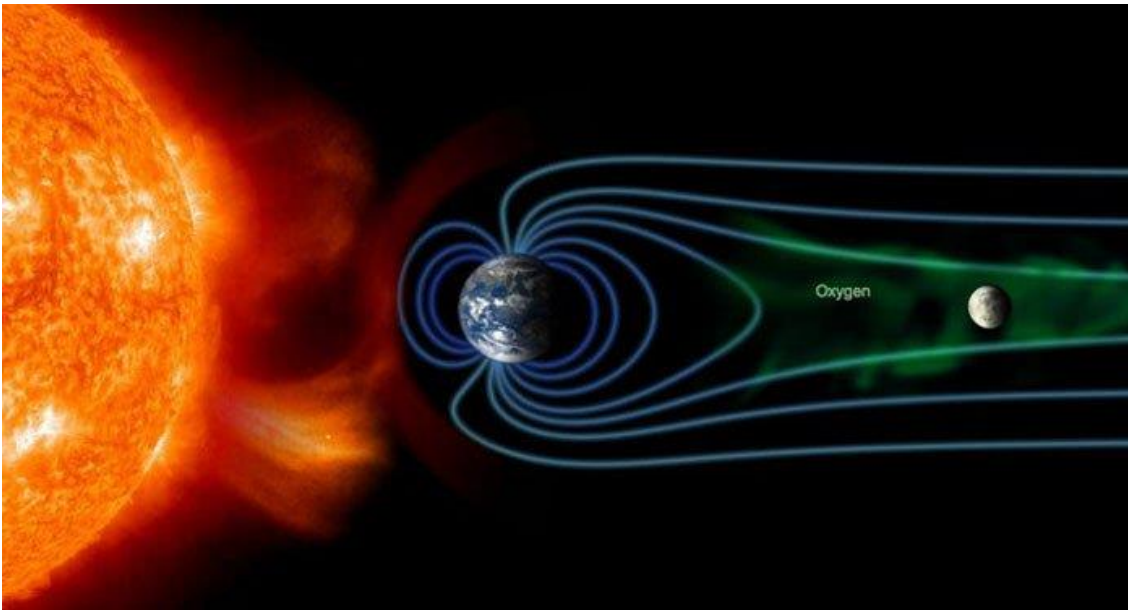
## 2.5 VENTO SOLAR

O vento solar é um fluxo de partículas carregadas emitidas pelo sol. Esse fluxo preenche todo o meio interplanetário, e já foi detectado além da órbita de Plutão. Essas partículas são geradas na coroa solar, onde as altas temperaturas geram uma pressão térmica maior do que a pressão gravitacional. Isso significa que a gravidade solar não tem força suficiente para manter as partículas do plasma coronal, que escapam para o meio interplanetário na forma de “vento”.

O vento solar tem uma densidade média de  $10^7$  partículas/ $m^3$  e temperaturas na ordem de  $10^5$  K, e atinge uma velocidade de 450 km/s.

A Figura 7 mostra a interação do vento solar com o campo magnético terrestre.

Figura 7 – Ilustração da interação do vento solar com a magnetosfera terrestre. O arco que se forma onde eles se encontram é chamado de arco de choque.



Fonte: [https://www.jornalciencia.com/wp-content/uploads/2017/02/vento-solar-oxigenio-lua\\_2.jpg](https://www.jornalciencia.com/wp-content/uploads/2017/02/vento-solar-oxigenio-lua_2.jpg)

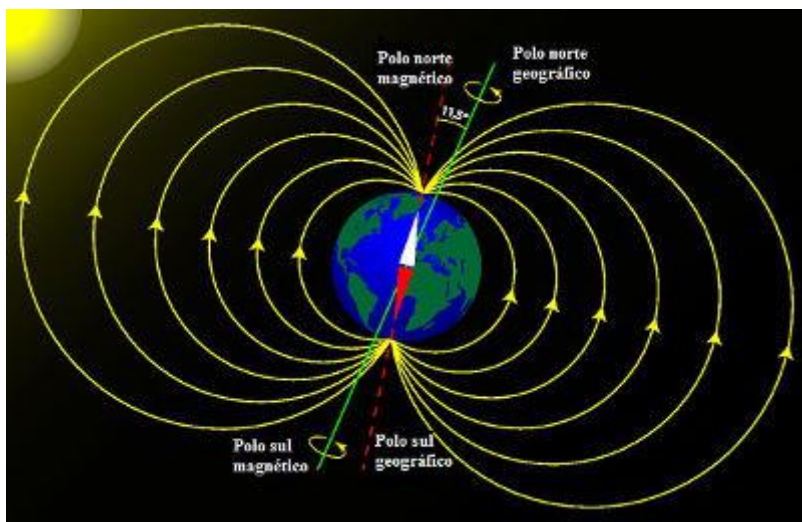
## 2.6 RELAÇÕES SOL-TERRA

O Sol bombardeia a magnetosfera terrestre com um fluxo constante de matéria, chamado de vento solar. Além disso, explosões solares e ejeções de massa também lançam partículas aceleradas no meio interplanetário que podem atingir o planeta.

### 2.6.1 Magnetosfera Terrestre

O núcleo da terra é formado por ferro sólido, contornado por uma camada composta por ferro e níquel derretidos. O movimento de rotação da Terra gera o mecanismo de dínamo (parecido com o que ocorre no Sol), que gera corrente elétrica que, por sua vez, gera o campo magnético terrestre, que é esquematizado na Figura 8.

Figura 8 – Representação das linhas de campo magnético terrestres. É possível ver a inclinação de aproximadamente  $12^\circ$  do seu eixo.



Fonte: <https://s3.static.brasilecola.uol.com.br/img/2015/11/campo-magnetico-terrestre.jpg>

Assim como a heliosfera, a magnetosfera terrestre é definida por uma cavidade em torno da Terra, onde predomina o campo magnético terrestre. A magnetosfera também serve como uma blindagem para as partículas carregadas pelo vento solar que atingem constantemente o planeta. A região em que o vento solar encontra a magnetosfera terrestre é chamada de magnetopausa. É possível ver na Figura 13 que o vento solar comprime a magnetosfera, que age como um obstáculo em uma correnteza. O lado oposto ao Sol (lado noturno) tem a magnetosfera estendida por cerca de 100 raios terrestres, formando o que se chama de magnetocauda, enquanto que o lado voltado para o Sol é comprimido e possui em média 10 raios terrestres. Dependendo do nível da atividade solar, o vento pode comprimir ainda mais a magnetosfera, que pode chegar a medir apenas 5 raios terrestres no lado voltado para o Sol. Em tempos de menos atividade solar, ela pode medir até 20 raios terrestres.

### 2.6.2 O Sol e o Clima Terrestre

O clima terrestre depende de diversos fatores, por isso não pode ser associado a um único fator isolado. O que se deve fazer é verificar os fatores que o influenciam, estudar como influenciam e a importância de cada um deles no clima da Terra.

De acordo com Guerrero (2009), a temperatura da Terra depende do brilho do Sol e da quantidade de radiação que o planeta está recebendo da estrela, que está diretamente relacionada com as manchas solares (e conseqüentemente, com o ciclo solar).

A atmosfera terrestre é composta por nitrogênio (78%), oxigênio (21%), argônio (0,9%) e outros gases (0,1%). Ela mantém a temperatura da Terra homogênea e também isola parte da radiação vinda do Sol. Sua espessura é de aproximadamente 480 km e se torna cada vez mais rarefeita à medida que aumenta sua altitude. É dividida em 5 camadas, conforme mostra a Figura 9:

Figura 9 – Camadas da atmosfera Terrestre.



Fonte: <https://www.infoenem.com.br/estudando-as-camadas-da-atmosfera-terrestre/>

A troposfera é a primeira camada da atmosfera, inicia-se na superfície terrestre e vai até 16 km de altitude, aproximadamente. É aqui que ocorre a formação de nuvens.

Depois da troposfera, a próxima camada é a estratosfera, que está entre 16 km e 48 km de altitude. Nela está localizada a camada de ozônio, responsável por absorver grande quantidade de radiação ultravioleta vinda do Sol.

A próxima camada (Mesosfera) é caracterizada pela queda brusca de temperatura, que vai de 20° C a -80° C, e fica localizada entre 48 km e 80 km de altitude.

A termosfera inclui a exosfera e parte da ionosfera, e apresenta variações de temperatura com a altitude. A ionosfera começa entre 70 e 80 km de altitude, e vai até 640 km, aproximadamente. O nome se dá pelo fato de existirem inúmeros íons e elétrons livres, que ocupam a região devido à intensa radiação solar, que interage com os átomos da atmosfera, liberando assim, os elétrons. É na ionosfera que ocorrem as auroras boreais e austrais.

A exosfera é a última camada da atmosfera terrestre, que vai de 640 km até 1.280 km de altitude. Nela, a pressão e a temperatura são muito baixas.

De acordo com Ayoade (1996), a quantidade de partículas que incide sobre a atmosfera terrestre depende do período do ano, período do dia e da latitude.

A formação de uma nuvem se dá quando o vapor de água é condensado e mantido em suspensão na atmosfera. Para que isso ocorra, é necessária a presença de partículas transportadas pelo ar, que carregam núcleos de condensação. São elas: sal marinho, poeiras, aerossóis químicos, entre outros.

O sal marinho é um exemplo de bom nucleador de gotículas de nuvem, enquanto partículas de solo, por exemplo, são bons nucleadores de cristais de gelo. Na ausência dessas partículas na atmosfera não há formação de nuvens. Quanto maior a quantidade de partículas, maior será o número de gotículas e cristais de gelo nas nuvens, e conseqüentemente, mais radiação solar será refletida de volta para o meio interestelar.

Para que ocorra a formação da chuva, é necessário que algumas gotículas levem vantagem em relação às outras ao longo do seu crescimento.

Se houver excesso de partículas em relação à água, a água não será suficiente para o crescimento das gotas e assim, não haverá a precipitação. Se a precipitação não ocorre, a nuvem se torna cada vez maior e fica mais tempo na atmosfera.

Franco (2013) diz que: “A temperatura das nuvens é, em média, 6°C menor que a temperatura da superfície terrestre e as nuvens refletem em torno de 20 a 30% da radiação solar”.

Um fator importante na formação de nuvens são os raios cósmicos (prótons de alta energia gerados por supernovas e outras fontes energéticas, como o Sol).

De acordo com pesquisas realizadas por Svensmark, Bondo, Svensmark (2009), os raios cósmicos dão origem a nuvens de baixa altitude, que refletem parte da radiação solar de volta para o espaço. A quantidade de raios cósmicos solares que atingem a Terra depende da intensidade do vento solar (que varia de acordo com a atividade solar, conforme já visto anteriormente). Essas partículas vindas do espaço se chocam com as moléculas da atmosfera terrestre e geram bilhões de outras partículas.

Pesquisadores estão correlacionando a quantidade de energia gerada pelo Sol com a quantidade de nuvens baixas formadas na Terra. Chegou-se à conclusão de que a cobertura de nuvens aumenta e diminui conforme a atividade solar.

De acordo com Carslaw, Harrison e Kirkby (2002), os íons positivos e elétrons livres são criados a partir da colisão das partículas emitidas pelo Sol com as partículas e moléculas em suspensão na baixa atmosfera terrestre. Esses íons permitem que ocorram outras ligações moleculares.

Aoyade (1996) salienta que a geografia tem ação preponderante sobre a precipitação, ou seja, os ciclos solares têm (teoricamente) papel secundário nesse fenômeno.

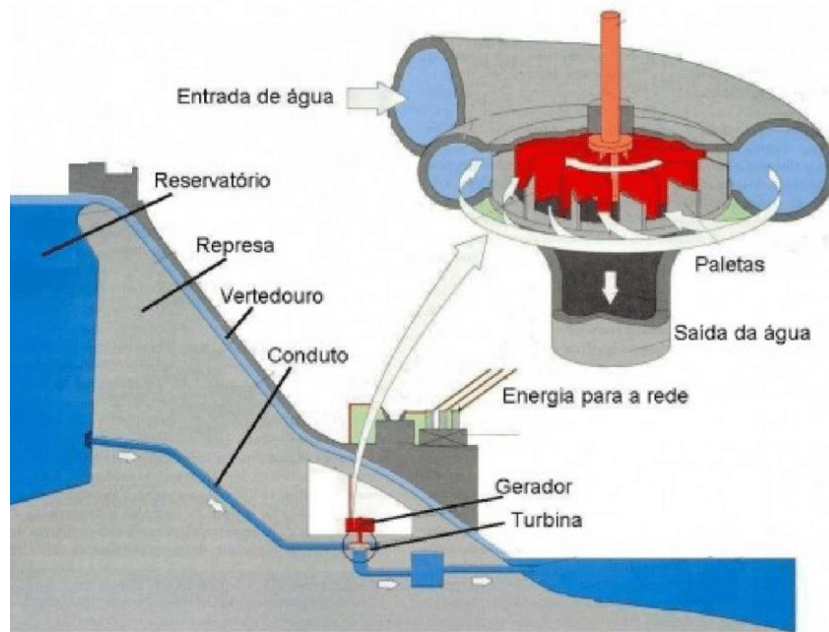
## 2.7 FUNCIONAMENTO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA

Sabe-se que a energia não é criada, e sim transformada. Com a energia elétrica, isso não é diferente. O princípio de uma usina hidrelétrica é transformar energia cinética em energia elétrica a partir do movimento de turbinas, que serão rotacionadas com o grande volume de água que irá passar por elas. Além disso, é considerada uma das formas mais limpas de se obter energia elétrica, embora ainda existam algumas questões que sempre são levantadas por ambientalistas, já que é necessário fazer o “alagamento” de uma área muito grande para construir o reservatório, e isso acaba matando muitos animais (e muitas vezes obrigando pessoas a se mudarem de onde moram).

Fazem parte de uma usina hidrelétrica: reservatório, barragem, vertedouro e a casa de força (onde estão localizados a turbina e os geradores).

O reservatório é formado pelo acúmulo da água de um rio pela barragem. Toda a reserva de água da usina fica no reservatório. A água possui então, dois caminhos: ela pode ir para o vertedouro, que serve para controlar o nível da água no reservatório (principalmente em épocas de cheia), ou para a casa de força, onde irá girar as pás das turbinas, transformando a energia cinética em energia elétrica. Dessa forma, o volume de água do reservatório pode variar durante o ano, mas o ideal é que a saída de água seja quase sempre constante. A Figura 10 mostra um esquema com os componentes de uma usina hidrelétrica:

Figura 10 – Esquema de uma usina hidrelétrica, onde é possível ver os principais componentes necessários para a geração de energia.



Fonte - [https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Esquema-de-como-funciona-uma-usina-hidreletrica-Fonte-Infoescola\\_fig2\\_272773274](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Esquema-de-como-funciona-uma-usina-hidreletrica-Fonte-Infoescola_fig2_272773274)

Vale ressaltar também a importância de uma boa localização em termos geográficos para a instalação de uma usina hidrelétrica: é extremamente necessário que haja uma queda d'água grande o suficiente para que a água atinja uma velocidade suficiente para girar as vinte turbinas de 3.360 toneladas cada (no caso da usina de Itaipú, que foi a utilizada para fazer este trabalho).

### 3 METODOLOGIA

A revisão bibliográfica deste trabalho está baseada em teses e artigos científicos relacionados ao tema. As informações a respeito do Sol e da Terra são mais consolidadas e antigas.

Serão usados dados de vazões mensais da usina de Itaipu, obtidos no site da ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), entre os anos de 1999 e 2019. Foi solicitado através do “Fale Conosco” do site da ONS a disponibilidade de dados anteriores a 1999, para que o trabalho pudesse ser realizado com uma amostra maior de dados, mas infelizmente não se obteve resposta.

A razão por ter escolhido a usina de Itaipú é o fato dela ser a maior usina hidrelétrica do mundo (e conseqüentemente do Brasil), e por esse motivo ser responsável pela geração de grande parte da energia do nosso país. O período escolhido para realizar o trabalho foi o disponível no site da ONS (todas as usinas do site tinham dados do mesmo período).

Os dados de vazão serão comparados com os dados de atividade solar do mesmo período, obtidos em <http://www.sidc.be/silso/datafiles>, para verificar a relação entre a atividade solar e o nível de vazão da usina. Vale ressaltar que os dados de atividade solar foram muito mais fáceis de serem obtidos. O site da fonte dos dados possui informações do Sol desde o ano de 1749.

Com os dados em mãos, foi adotada a mesma metodologia que Pablo J.D. Mauas utilizou para escrever seu artigo em 2008, que relacionava a atividade solar com o fluxo do rio Paraná. Mauas utilizou um filtro passa-baixa nos dados de manchas solares e de fluxo do rio para obter uma linha de tendência desses dados. O mesmo foi feito nesse trabalho, com o auxílio do Python, com o código e parâmetros conforme mostra a Figura 11:

Figura 11 – código utilizado para obtenção da tendência dos dados de manchas solares.

```
fc = 0.005 # frequencia de corte, em porcentagem da taxa de amostragem
b = 0.017  # banda de transição, em porcentagem da taxa de amostragem
N = int(np.ceil((4 / b)))
if not N % 2: N += 1
n = np.arange(N)

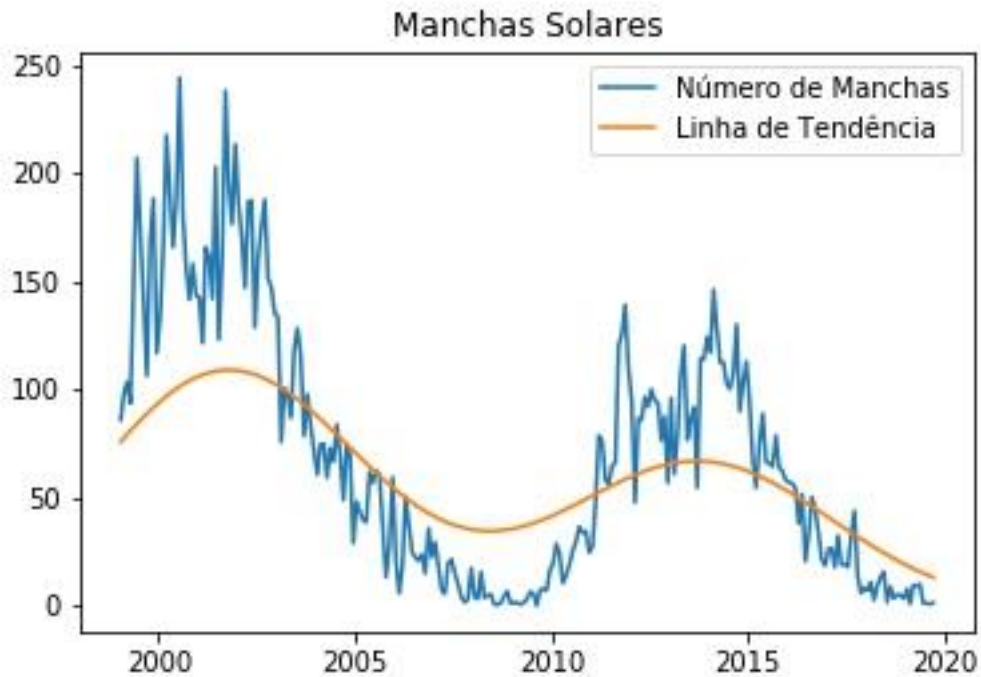
sinc_func = np.sinc(2 * fc * (n - (N - 1) / 2.))
window = 0.42 - 0.5 * np.cos(2 * np.pi * n / (N - 1)) + 0.08 * np.cos(4 * np.pi * n / (N - 1))
sinc_func = sinc_func * window
sinc_func = sinc_func / np.sum(sinc_func)

v = list(Manchas_mes)
low_signal = np.convolve(v, sinc_func, mode='same')
```

A partir desse código, obteve-se o seguinte gráfico:



Figura 12 – Gráfico mostra o número de manchas solares e a linha de tendência obtida com o filtro durante o período analisado.



Foi utilizado o mesmo filtro, porém com parâmetros diferentes, para obter a linha de tendência dos dados de vazão, conforme mostra a Figura 13:

Figura 13 – código utilizado para obtenção da tendência dos dados de vazão.

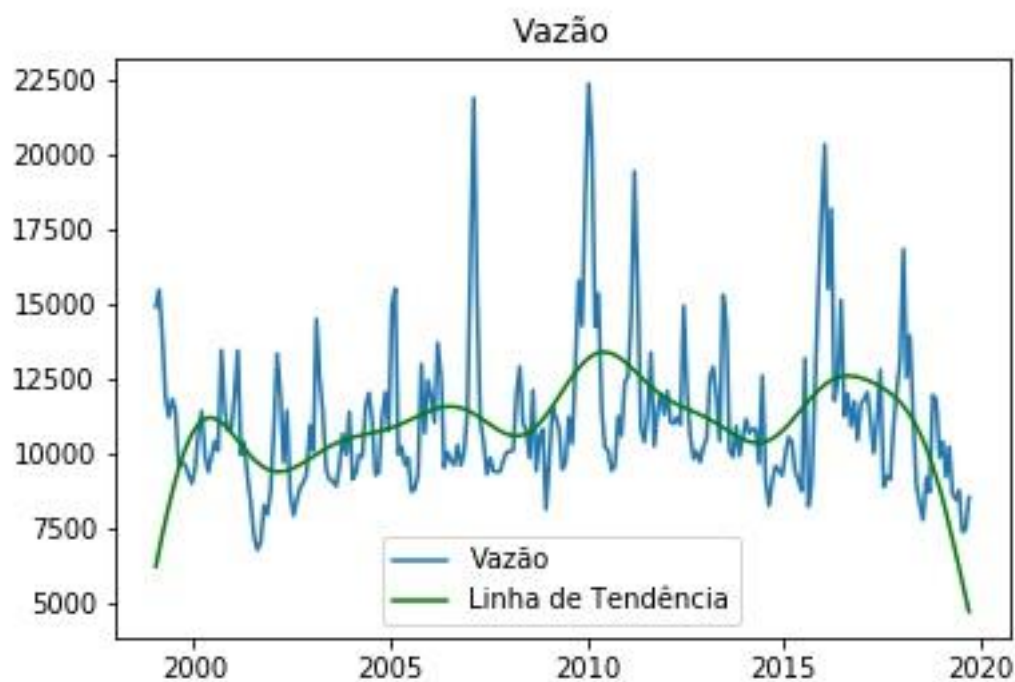
```
fc = 0.025
b = 0.02
N = int(np.ceil((4 / b)))
if not N % 2: N += 1
n = np.arange(N)

sinc_func = np.sinc(2 * fc * (n - (N - 1) / 2.))
window = 0.42 - 0.5 * np.cos(2 * np.pi * n / (N - 1)) + 0.08 * np.cos(4 * np.pi * n / (N - 1))
sinc_func = sinc_func * window
sinc_func = sinc_func / np.sum(sinc_func)

s = list(Vazao)
low_signal2 = np.convolve(s, sinc_func, mode='same')
```

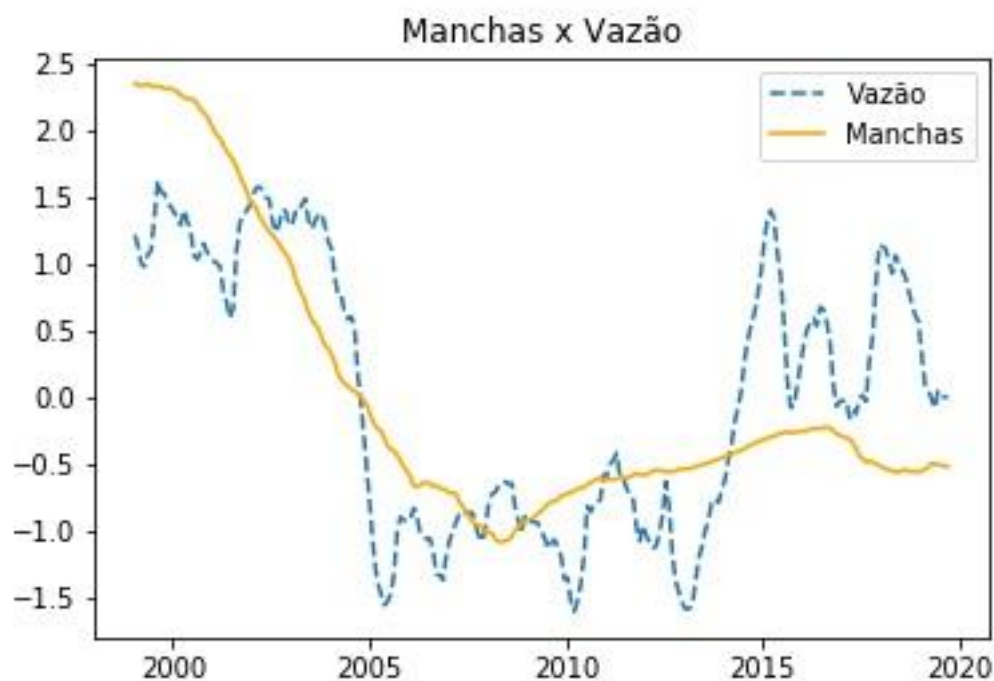
O gráfico gerado com esse código está apresentado na figura 14:

Figura 14 - Gráfico mostra a vazão e a linha de tendência obtida com o filtro durante o período analisado.



Após obter as linhas de tendência (curva amarela da Figura 19 e curva verde da Figura 20), seguindo a metodologia de Mauas, subtraímos as tendências dos dados, e depois tomamos uma média corrida de 11 anos (tempo do ciclo solar) com o resultado. Feito isso, os dados foram normalizados subtraindo a média e dividindo o resultado pelo desvio padrão. Plotando tudo isso, o resultado é o que se vê na Figura 15:

Figura 15 – Em tracejado, dados de vazão normalizados após subtração da tendência, e em linha contínua, a linha normalizada dos dados de manchas solares.



O coeficiente de correlação de Pearson obtido para os dados acima foi de  $r = 0,73$ , onde:

$r \geq (+ \text{ ou } -) 0.70$  indica forte correlação;

$0.30 \leq r < (+ \text{ ou } -) 0.70$  indica correlação moderada;

$r < (+ \text{ ou } -) 0.30$  indica fraca correlação.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o resultado obtido com a correlação (teve-se um coeficiente de Pearson de  $r = 0,73$ ), é possível concluir que a partir dos dados utilizados neste trabalho, existe uma forte correlação entre a atividade solar e o fluxo do reservatório da usina de Itaipú. O resultado é muito próximo do resultado obtido por Mauas em seu trabalho, que chegou em um coeficiente de 0.78. Isso pode ser explicado pela formação de chuvas, conforme visto acima neste trabalho: a chuva é formada a partir de interações moleculares que ocorrem na atmosfera terrestre, e essas interações podem ser acentuadas em períodos de maior atividade solar, dado que o número de partículas lançadas pelo Sol na atmosfera da Terra aumenta nesses mesmos períodos. Ou seja, aumenta o número de partículas emitidas pelo Sol, que aumentam as interações na atmosfera da Terra, causando mais formação de chuva e conseqüentemente, aumento na vazão do rio que abastece a usina hidrelétrica. Essa conclusão é muito importante, pois pode indicar um fator que atualmente não é considerado para a construção

de uma usina ou no cálculo de capacidade de geração de energia que ela pode suprir, além de ser um instrumento a mais para prever épocas de secas e enchentes.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado obtido a partir da correlação de Pearson foi bastante satisfatório, mas é importante frisar que foi feito para um intervalo de tempo de 20 anos em apenas um rio. Essa foi justamente a maior dificuldade para realizar o trabalho. Foi solicitado através do “Fale Conosco” do site da ONS a disponibilidade de dados anteriores a 1999, para que o trabalho pudesse ser realizado com uma amostra maior de dados, mas infelizmente não se obteve resposta. Fica também a sugestão de aplicar os mesmos métodos deste trabalho para comparar a atividade solar com outros níveis de vazão, em diferentes localidades do Brasil (ou do mundo), para que se chegue a um resultado mais conclusivo.

## REFERÊNCIAS

SILVA, Adriana Válio Roque da. **Nossa Estrela: O Sol**. São Paulo: Livraria da Física, 2006. 169 p.

DURO, Magda Aparecida Salgueiro. **Falhas em linhas de transmissão elétrica na região sudeste do Brasil e efeitos do ambiente geofísico**. 2013. 84 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP.

FILHO, Kepler de Souza e SARAIVA, Maria de Fátima. O Sol – a nossa estrela. Rio Grande do Sul, modificada em jan. 2019. Disponível em: < <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

OLIVEIRA, Marcos José de et al. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Terrae Didática**. São Paulo, p. 149-184.

MAUAS, Pablo J. D.; FLAMENCO, Eduardo; BUCCINO, Andrea P.. Solar Forcing of the Streamflow of a Continental Scale South American River. **Atmospheric And Oceanic Physics**, Buenos Aires, v. 101, p.1-4, fev. 2013.

FRANCO, Regina Magna. OS CICLOS SOLARES E SUA INFLUÊNCIA NO REGIME DE CHUVAS. **Os Ciclos Solares e Sua Influência no Regime de Chuvas**, Londrina - Pr, v. 1, n. 1, p.1-63, fev. 2013.

ZUFFO, Antônio Carlos. O Sol, o motor das variabilidades climáticas. **Revista Dae**, [s.l.], v. 63, n. 198, p.6-24, 2015. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.142>.

AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 10ª Ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

SVENSMARK, H., BONDO, T., SVENSMARK, J. Cosmic ray decreases affect atmospheric aerosols and clouds. **Geophysical Research Letters**, vol.36, 2009.L15101, p.1-4.

CARSLAW, K.S, HARRISON, R.G., KIRKBY, J. Cosmic rays, clouds, and climate. **Review: atmospheric Science**. 29 november 2002, vol 298, p 1732-1737. Disponível em [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org).

