



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS – CCT
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA
CURSO DE FÍSICA**

SILVANO LAURENTINO DA SILVA JUNIOR

**AS LEIS DE NEWTON E SUAS SEMELHANÇAS NA ANÁLISE DO CRESCIMENTO
DE PLANTAS**

CAMPINA GRANDE- PB

2018

SILVANO LAURENTINO DA SILVA JUNIOR

**AS LEIS DE NEWTON E SUAS SEMELHANÇAS NA ANÁLISE DO CRESCIMENTO
DE PLANTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) em cumprimento as exigências para obtenção do título de licenciatura em Física.

Orientador Profº. Dr. José Fideles Filho

CAMPINA GRANDE- PB

2018

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586l Silva Junior, Silvano Laurentino da.
As Leis de Newton e suas semelhanças na análise do crescimento de plantas [manuscrito] / Silvano Laurentino da Silva Junior. - 2019.
22 p.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.
"Orientação : Prof. Dr. José Fideles Filho, Coordenação do Curso de Física - CCTS."
1. Leis de Newton. 2. Mecânica de crescimento. 3. Crescimento de plantas. I. Título

21. ed. CDD 531

SILVANO LAURENTINO DA SILVA JUNIOR

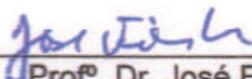
**AS LEIS DE NEWTON E SUAS SEMELHANÇAS NA ANÁLISE DO
CRESCIMENTO DE PLANTAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Licenciatura em
Física da Universidade Estadual da Paraíba,
como requisito parcial à obtenção do título de
Licenciatura em Física.

Área de concentração: Física e Meio Ambiente

Aprovada em: 11/02/2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Fideles Filho (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Elialdo Andriola Machado (Examinador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. José Ginaldo de Souza Farias (Examinador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Dedico este trabalho a minha mãe, Vera Lúcia, ao meu padrasto, Hidelbrando Rodrigues, minha irmã, Joseane Alves e toda a minha família, por terem me apoiado durante todo o curso e no processo de construção deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus pela oportunidade de ter me conduzido até aqui com retidão e obediência aos seus preceitos, conforme está escrito: “O sábio ouvirá e crescerá em conhecimento, e o entendido adquirirá sábios conselhos” (Provérbios 1:5).

Agradeço a todos os meus familiares, em especial minha amada mãe, Vera Lúcia, pelo incentivo e força nos momentos mais difíceis dessa jornada que partilhamos juntos, exaltando a sua paciência durante essa etapa de minha vida, da qual colhemos hoje os bons frutos da dedicação e sacrifício.

Agradeço à Universidade Estadual da Paraíba, por ter me proporcionado o amadurecimento intelectual e pessoal que levarei por toda a minha vida.

Também, não poderia esquecer alguns mestres do Departamento de Física, como Alex da Silva, Jean Spinelly, Ruth Melo e José Fideles Filho que marcaram significativamente minha trajetória acadêmica, não só como exímios mestres, mas também como excelentes amigos.

E aos colegas e amigos de curso que durante esse período representaram a minha segunda família; agradeço pelos momentos que vivenciamos juntos, aprendendo e compartilhando experiências que em muito contribuíram para meu crescimento como ser humano.

Grato à vida, por ter me proporcionado esplendorosas experiências; meu mais sincero obrigado.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
3.1. Os Princípios da Dinâmica.....	7
3.2. Análise de Crescimento de Plantas.....	10
4. METODOLOGIA.....	13
4.1. Aspectos da Mecânica do Crescimento Comparados com as Três do Movimento.....	13
4.2. Padrões de Crescimentos Exponencial e Sigmoide.....	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
6. CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

RESUMO

As leis do movimento de Newton são utilizadas para determinar grande parte do que acontece em nosso dia a dia. Sendo assim, o presente estudo visa buscar semelhanças entre os aspectos mecânicos do crescimento de plantas e sua relação com as leis do movimento de Newton. Utilizando – se de alguns parâmetros usados na mecânica do crescimento como peso relativo (W), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR) e aceleração do crescimento (AC). Para demonstrar as semelhanças existentes entre a mecânica do crescimento de plantas e as leis do movimento de Newton.

PALAVRAS CHAVES: 1. Leis de Newton; 2. Análise de Crescimento; 3. Aspectos da Mecânica de Crescimento.

1. INTRODUÇÃO

As leis do movimento de Newton podem ser utilizadas para determinar grande parte do que acontece em nosso dia a dia. No mundo da engenharia encontram-se obrigatoriamente aplicações para essas leis. Nosso propósito é relacionar o crescimento de plantas em função das leis do movimento de Newton.

O acompanhamento do crescimento vegetal pode ser feito por meio de fórmulas matemáticas. Quantificando-se a produção vegetal, é possível avaliar a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento final das plantas. Sua principal vantagem está na obtenção de informações a intervalos periódicos, sem a necessidade de laboratórios ou equipamentos sofisticados, já que o crescimento de plantas é avaliado de forma quantitativa através do aumento de peso e tamanho.

Assim, a análise desse crescimento é feita a partir da matéria seca acumulada (fitomassa) ao longo do crescimento. Portanto, entende-se por crescimento, um aumento irreversível de tamanho ou peso. E grande parte desse crescimento é irrelevante para um novo crescimento, pois, constitui-se de material inerte, ou seja, não envolvido diretamente no crescimento. Esse crescimento é dado em função do tempo (dias) e é representado por uma curva (Sigmóide). Nesse tipo de curva, pode-se distinguir inicialmente uma fase lenta de crescimento, passando a uma fase exponencial e, em seguida, uma de crescimento linear, com a paralisação

eventual do processo, onde cada uma dessas três fases está associada a uma das três leis do movimento.

Assim, através de alguns parâmetros usados na mecânica do crescimento como peso relativo (W), taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) e aceleração do crescimento (AC), chega-se à algumas semelhanças entre a mecânica do crescimento e as leis do movimento, também conhecidas como as leis de Newton, que é o objetivo do trabalho

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Os Princípios da Dinâmica

Galileu e Newton formularam aquilo que chamam de “Princípios Básicos da Dinâmica”. De modo direto e intuitivo, busca-se chegar a eles. De acordo com as concepções espontâneas de cada indivíduo, entende-se que para afetar o movimento de um corpo é preciso da ação do que habituou-se chamar de “forças”. Intuitivamente o conceito de forças é relacionado com um esforço muscular capaz de provocar ou alterar o estado de movimento de um corpo (NUSSENZVEIG, 2002).

Antes da mecânica Newtoniana, pensava-se que para manter um corpo em movimento com uma velocidade constante seria necessário a ação de uma força.

Entendia-se que um corpo em repouso estava em seu “estado natural”. Semelhantemente um corpo em movimento com velocidade constante sem a ação de uma força para o impulsionar pararia naturalmente (HALLIDAY & DAVID, 2008).

Dessa forma, um corpo deslizando sobre o solo, tende a parar se pararmos de empurrá-lo. Porém, em lançamentos de projéteis como uma pedra ou uma flecha o movimento continua mesmo depois de lançados. Aristóteles explicava isso afirmando que o ar atingido pelo projétil se espalhava pelo lado indo para trás do projétil agindo como uma força que o impulsionava a continuar seu movimento.

Contrapondo essa ideia Galileu;

(...) imaginou uma situação ideal, como sendo uma esfera lançada sobre um plano horizontal perfeitamente polido (sem atrito), desprezando a resistência do ar. O movimento não seria nem acelerado nem desacelerado: não havendo forças na direção horizontal, teríamos um movimento retilíneo uniforme. Ao contrário do que dizia Aristóteles, não há necessidade de forças para manter

um movimento retilíneo uniforme, uma aceleração nula ($v = \text{constante}$) está necessariamente associada à ausência de forças resultante sobre a partícula ($F = 0$) (NUSSENZVEIG, 2002, p. 67).

A situação criada por Galileu é praticamente impossível de se realizar na prática. Entretanto, num laboratório pode se chegar a uma situação bem próxima, fazendo um objeto deslizar sobre uma camada de ar ou gás carbônico (proveniente da evaporação do gelo seco) que torna muito pequeno o efeito do atrito. Nessas condições, é verificada a lei da Inércia (NUSSENZVEIG, 2002).

Em 1687 foi publicado o tratado “Os princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, onde Newton formulou as três “Leis do Movimento”. A primeira afirma que, quando a resultante das forças que atuam sobre um corpo for nula, ou seja, igual a zero, o movimento do corpo não se altera. A segunda lei relaciona a força com a aceleração quando a força resultante que atua sobre um corpo não é igual a zero. A terceira lei retrata a interação das forças que os corpos exercem um sobre o outro (YOUNG, 2008).

A 1ª Lei é a Lei da Inércia: “Um corpo em repouso permanece em repouso a não ser que uma força externa atue sobre ele. Um corpo em movimento continua em movimento com rapidez constante e em linha reta a não ser que uma força externa atue sobre ele (TIPLER & MOSCA, 2006, p. 94).

Sendo assim, se o somatório de todas as forças que atuam em um corpo for zero, é bem provável que encontremos referenciais nos quais este corpo não tenha aceleração, são os chamados “referenciais inerciais” (HALLIDAY, 2008).

Uma das implicações da 1ª lei é que a aceleração está ligada a ação de forças. Considerando um corpo em queda livre, sabemos que a aceleração (constante) é vertical e dirigida para baixo. O corpo fica sujeito a ação da força gravitacional que também é vertical, dirigida para baixo e constante para um dado corpo, ou seja, é a mesma em qualquer ponto nas proximidades da terra. Isso nos sugere uma proporcionalidade entre aceleração e força, ou seja, $a = k.F$. Como uma mesma força aplicada em corpos diferentes, produz acelerações diferentes. O coeficiente (k) mede uma propriedade do corpo, que indica à resposta a força aplicada.

Nesse sentido para que um carro e uma bicicleta cheguem a uma mesma aceleração, é preciso que uma força bem maior seja aplicada ao carro, já que ele resiste muito mais do que a bicicleta a variações de velocidade. O coeficiente k é uma propriedade inversamente proporcional a “inércia” do corpo, ou seja, quanto maior for o valor da massa m menor será o valor de k . De forma análoga, quanto menor for o valor da massa m maior será o valor de k (NUSSENZVEIG, 2002).

Pode-se inferir assim, que a segunda Lei de Newton associa a massa da partícula sobre a qual age a força que é denotada por massa inercial com a aceleração.

Ela é denotada como o “Princípio Fundamental da Dinâmica”, conforme está escrito, é a lei básica que permite determinar a evolução de um sistema na mecânica clássica. A primeira lei pode ser considerada como um caso particular da segunda: Se a força resultante que atua sobre uma partícula é nula, isto mostra que a aceleração é nula, ou seja, a aceleração é igual a zero. E isso acarreta para a partícula a permanência em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Nota-se que a segunda lei, como a primeira, só é válida num referencial inercial (NUSSENZVEIG, 2002, p. 70).

Nesse sentido, Tipler & Mosca (2006) afirmam que a aceleração de um corpo é diretamente proporcional à força resultante que atua sobre ele, e o inverso da massa do corpo é a constante de proporcionalidade.

De acordo com Halliday (2008) as forças existem em pares. Se um martelo exerce uma força sobre um prego, o mesmo exerce uma força sobre o martelo. Se alguém escorado em parede de tijolos exerce uma força sobre ela, a mesma exerce uma força sobre esse alguém. Generalizando, se um corpo A exerce uma força sobre um corpo B, a chamamos de (F_{AB}). Então, o corpo B também exerce uma força (F_{BA}) sobre o corpo A de mesmo módulo, mesma direção e sentidos contrários. Uma é chamada de força de ação e a outra de força de reação.

A 3ª lei de Newton, “Quando dois corpos interagem entre si, a força F_{BA} exercida pelo corpo B sobre o corpo A tem a mesma magnitude e o sentido oposto ao da força F_{AB} exercida pelo corpo A sobre o corpo B.” (TIPLER & MOSCA, 2006, p. 109).

Quando se trata do “Princípio da ação e reação” sempre surge um questionamento pertinente, se as forças são de mesmo módulo, mesma direção e

sentidos contrários porque não se cancelam? A resposta é simples, a “ação” e a “reação” estão sempre aplicadas a corpos diferentes.

2.2. Análise de Crescimento de Plantas

O rastreamento do crescimento vegetal pode ser feito por meio de fórmulas matemáticas, quantificando-se a produção vegetal, é possível avaliar a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento final das plantas. Sua principal vantagem está na obtenção de informações em intervalos periódicos, sem a necessidade de laboratórios ou equipamentos sofisticados, já que para tais análises, é preciso apenas da massa da matéria seca (fitomassa) da planta e a dimensão do aparelho fotossintetizante que é a área foliar.

A determinação da superfície foliar é muito importante no que diz respeito a inúmeros parâmetros fisiológicos como a taxa de crescimento relativo, a taxa assimilatória líquida e o índice de área foliar, entre outros. A área foliar representa a matéria prima para a fotossíntese e, como tal, é de grande importância para a produção de carboidratos, óleos, proteínas e fibras. Basicamente, os parâmetros utilizados para medir o crescimento vegetal abordam a área foliar (AF ou L) e matéria seca (MS ou W) acumulada pela planta (PEIXOTO & PEIXOTO, 2004, p.4).

Conforme Mesquita & Freitas (2002), o crescimento de plantas é avaliado de forma quantitativa através do aumento de peso e tamanho. Assim, a análise desse crescimento é feita a partir da matéria seca acumulada (fitomassa) ao longo do crescimento, onde cerca de 90% desse material vem da atividade fotossintética, enquanto os 10% vem da absorção de nutrientes e minerais do solo.

Como crescimento é avaliado em variações em tamanho de algum aspecto da planta, geralmente morfológico, em função da acumulação de material resultante da fotossíntese líquida, esta passa a ser o aspecto fisiológico de maior importância para a análise de crescimento (MESQUITA & FREITAS, 2002, p. 2).

Para Santos (2004) a transformação de energia luminosa em energia química, o que denomina-se de fotossíntese pode ser medida de várias formas na qual destaca-se duas delas. Uma que quantifica o gás carbônico absorvido e a outra que quantifica a massa seca produzida pela planta.

Nos estudos eco fisiológicos das plantas não se pode prescindir da análise de crescimento, pois, os fatores ambientais como luz, temperatura, concentração de CO₂ e a disponibilidade de água e nutrientes, próprios de cada local, afetam sensivelmente a taxa assimilatória líquida, a taxa de crescimento relativo, a razão de área foliar etc., destas plantas. Através do estudo das interações destes parâmetros com cada fator ambiental, em particular, e/ou estágio de desenvolvimento da planta, podem ser conhecidas a eficiência do crescimento e a habilidade de adaptação às condições ambientais em que estas plantas crescem (PEIXOTO & PEIXOTO, 2004, p. 1).

Assim, a análise de crescimento é uma ferramenta que permite avaliar o crescimento final da planta de um modo geral e a contribuição dos diversos órgãos no crescimento total. Apontando, assim, as causas de variação de crescimento entre as plantas geneticamente diferentes ou entre plantas crescendo em ambientes diferentes. Assim, a análise de crescimento é muito importante para conhecer as plantas como entidades biológicas que são, independentes de exploração agrícola. A análise de crescimento para previsão de produções tem sido adotada na elaboração dos modelos. Para isso, são necessárias series de dados difíceis de serem obtidos, porque exigem condições ambientais semelhantes, o que é praticamente impossível. Apesar disso, tem sido possível, a partir de determinações realizadas em fases precoces do crescimento, detectar efeitos de deficiência do meio, possibilitando a correção dos mesmos, a tempo de não se comprometer à produção final (MESQUITA & FREITAS, 2002).

A técnica de análise de crescimento, desenvolvida por cientistas ingleses, permite através de avaliações periódicas e com a utilização de fórmulas matemáticas, a determinação do padrão de acúmulo e distribuição de massa seca nas diversas partes da planta durante o seu ciclo vegetativo e reprodutivo. (...) o uso de modelos matemáticos para expressar o crescimento e seus parâmetros derivados (AF, IAF, etc.) é muito popular e pode eventualmente fornecer subsídios para melhor compreensão dos diferentes processos fisiológicos envolvidos na morfogênese da planta. para melhor compreensão dos diferentes processos fisiológicos envolvidos na morfogênese da planta (SANTOS, 2004, p. 1).

Portanto entende-se por crescimento, um aumento irreversível de tamanho ou peso. E grande parte desse crescimento é irrelevante para um novo crescimento, pois, constitui-se de material inerte, ou seja, não envolvido diretamente no crescimento.

De acordo com Peixoto & Peixoto (2004), as fases do crescimento de uma planta são perfeitamente explicáveis na Figura 1, onde são representadas as mudanças no tamanho e massa dessa planta, em função do tempo. Nesse tipo de curva, pode-se distinguir inicialmente uma fase lenta de crescimento, passando a uma fase exponencial e, em seguida, uma de crescimento linear, com a paralisação eventual do processo.

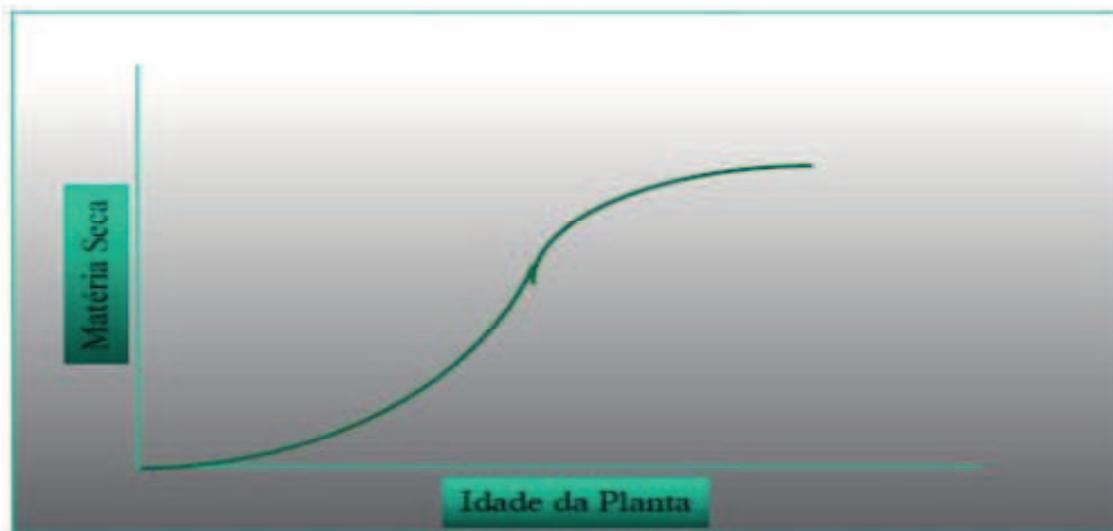


Figura 1. Curva clássica de crescimento vegetal. Fonte: (Mesquita & Freitas, 2002. p. 3).

No organismo unicelular, todas as células estão envolvidas no crescimento, razão pelo qual o crescimento é exponencial no tempo, ou seja, $N = 2^t$ onde: N = número total de células; t = tempo de geração (tempo que uma célula leva-se para dividir-se). Nos sistemas naturais, o crescimento não é infinitamente exponencial, porque o ambiente se torna aos poucos limitante, restringindo o crescimento. A curva clássica de crescimento de uma planta apresenta-se na forma sigmoide, onde três fases podem ser claramente detectadas: fase logarítmica (log), linear e senescente. Na fase log, o crescimento é devido a um aumento em tamanho/unidade de tempo, sendo inicialmente lenta (podendo ser devido à germinação). Na fase linear, o aumento continua constante, onde se dá a taxa máxima de crescimento de uma planta (MESQUITA & FREITAS, 2002, p. 3).

3. METODOLOGIA

3.1. Aspectos da Mecânica do Crescimento Comparados com as Três Leis do Movimento

Sabe-se que na mecânica a aceleração é usada para analisar o movimento de um corpo. De forma análoga, a aceleração do crescimento dos vegetais (AC) é importante do ponto de vista da mecânica do crescimento na análise do crescimento de plantas. Assim, a partir da inserção da aceleração na análise do crescimento de plantas, é possível comparar aspectos da mecânica do crescimento com as três leis do movimento (SHIMOJO, et al, 2006).

Segundo Santos (2004), a taxa de crescimento relativo (TCR) é a medida mais adequada para avaliar o crescimento de um vegetal. Retrata a quantidade de material vegetal produzido por determinada quantidade de material existente (g), durante um intervalo de tempo (dias) prefixado, podendo ser usado na observação da velocidade média de crescimento ao longo do período de observação. Assim, relaciona-se peso relativo (W), taxa de crescimento absoluto (TCA) e a aceleração do crescimento (AC) por meio da taxa de crescimento relativo (TCR).

Shimojo et al, (2006), afirmam que, de acordo com a análise básica de crescimento de um animal ou planta, a taxa de crescimento relativo (TCR) é dada pela seguinte equação,

$$\frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = TCR \quad (1)$$

Integrando os dois membros da Equação (1) em função do peso W e do tempo t, como escrito na Equação (2),

$$\frac{dW}{W} = TCR dt \quad (2)$$

Tem-se,

$$W = W_0 \cdot e^{(TCR \cdot t)} \quad (3)$$

Onde, W_0 é o peso, no instante $t = 0$.

Diferenciando a Equação (3), tem-se, a taxa de crescimento absoluto (TCA), ou seja,

$$TCA = TCR \cdot W_0 \cdot e^{(TCR \cdot t)} \quad (4)$$

Diferenciando a Equação (4), chega-se a aceleração do crescimento (AC),

$$AC = (TCR)^2 \cdot W_0 \cdot e^{(TCR \cdot t)} \quad (5)$$

Combinando as Equações (3) e (4), tem-se,

$$TCA = TCR \cdot W \quad (6)$$

E reescrevendo a Equação (6),

$$TCR = \frac{TCA}{W} \quad (7)$$

Agora, substituindo a Equação (3) na Equação (5), obtém-se,

$$AC = (TCR)^2 \cdot W \quad (8)$$

Que pode ser reescrita como,

$$AC = TCR \cdot TCR \cdot W \quad (9)$$

Combinando as Equações (6) e (9), à aceleração do crescimento pode ser reescrita como:

$$AC = TCR \cdot TCA \quad (10)$$

Isolando a taxa de crescimento relativo (TCR), tem-se:

$$TCR = \frac{AC}{TCA} \quad (11)$$

Combinando as Equações (7) e (10), chega-se a:

$$\frac{TCA}{W} = \frac{AC}{TCA} \quad (12)$$

Reescrevendo a Equação (12), obtém-se:

$$TCA \cdot TCA = W \cdot AC \quad (13)$$

e finalmente tem-se:

$$(TCA)^2 = W \cdot AC \quad (14)$$

Segundo Shimojo et al (2006) o lado direito da Equação (14) é semelhante com a equação da segunda lei do movimento, dada por:

$$F = m \cdot a \quad (14)$$

Assim, numa comparação entre as Equações (14) e (15), fica nítido que $(TCA)^2$ do ponto de vista da mecânica do crescimento pode ser considerada a força envolvida no crescimento. Com isso, a parte principal na mecânica do crescimento deixa de ser o peso relativo W , e passa a ser a taxa de crescimento absoluto (TCA). Logo, reescrevendo a Equação (14), chega-se a:

$$TCA = \pm \sqrt{W \cdot AC} \quad (16)$$

Onde, através da Equação (16) pode-se obter não apenas valores positivos, mas também valores negativos para TCA.

Depois de analisar por meio dessas equações alguns parâmetros usados na mecânica do crescimento como peso relativo (W), taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) e aceleração do crescimento (AC). Chega-se à algumas semelhanças entre mecânica do crescimento e as leis do movimento, também conhecidas como as três leis de Newton.

A taxa de crescimento absoluto elevada ao quadrado $(TCA)^2$ é dado pelo produto entre W e AC (massa x aceleração), ou seja, é a força envolvida no crescimento. E se assemelha com a segunda das três leis do movimento. Onde o

produto de massa e aceleração está relacionada a força aplicada a um objeto. Percebe-se também que, se $AC = 0$, tem-se $(TCA)^2 = 0$.

Conforme Peixoto & Peixoto (2004), a taxa de crescimento absoluto (TCA) indica a variação de crescimento em um determinado intervalo de tempo, ou um incremento de matéria seca neste intervalo de tempo. Ou seja, é uma medida que pode ser usada para se ter uma idéia da velocidade média de crescimento ao longo do período de observação. Logo, uma aceleração igual a zero, implica numa velocidade constante, fato este, que faz o peso invariável, se mantendo constante com o passar do tempo, mostrando então, uma semelhança com a lei da inércia, que é a primeira das três leis do movimento. Depois que a Equação (14) foi reescrita para Equação (16), o TCA passou a ter valores positivos e negativos.

Assim, o TCA positivo é a ação de uma planta em um ambiente, e o TCA negativo a reação do ambiente sobre a planta. E a soma dos valores positivos e negativos do TCA, é igual a zero. Fato que se assemelha com a terceira das três leis do movimento, ação e reação. Então, esses são os três aspectos da mecânica do crescimento que poderiam ser comparados com as três leis do movimento de Newton.

3.2. Padrões de Crescimentos Exponencial e Sigmóide

As células individuais ou órgãos de uma planta apresentam potencialmente um crescimento ilimitado que obedece a um padrão exponencial. Interações mútuas entre indivíduos impõem limitações ao crescimento e a curva de crescimento sofre inflexão, tomando uma conformação sigmóide.

Está apresentado na Figura 2 de forma hipotética o crescimento de plantas em função do tempo t , onde este tempo é dado em dias após o plantio e o crescimento é dado em peso de matéria seca. Observa-se na Figura 2, que na fase 1, o crescimento da planta é lento, tendo em vista que a planta depende fundamentalmente de reservas da semente.

Posteriormente, vem a fase 2, denominada de fase exponencial (de crescimento rápido). Isto ocorre porque a planta agora depende da absorção de nutrientes pelas raízes e da atividade fotossintética. Em seguida vem a fase 3, que é

um período de redução no crescimento, devido a senescência, que é a paralisação de matéria orgânica.

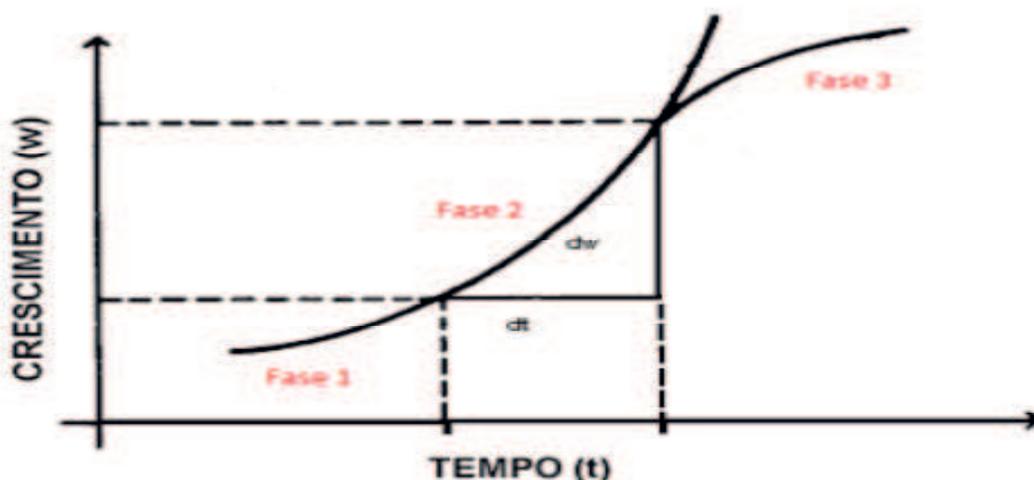


Figura 2 - Padrões de crescimento em planta: exponencial (A) e sigmóide (B).
Fonte: (PEIXOTO & PEIXOTO, 2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para um melhor entendimento da metodologia empregada nesse trabalho, utilizou-se os dados de fitomassa de um experimento conduzido em Sousa, município pertencente à região do alto Sertão do estado da Paraíba, em 1986, e repetido em 1987, para verificar os efeitos de várias configurações de plantio no crescimento e desenvolvimento da cultivar CNPA Precoce 1, nas condições edafoclimáticas do Sertão paraibano (BELTRÃO et al. 1990).

De posse dos dados de fitomassa (matéria seca) em gramas e em função do tempo em dias, gerou-se as curvas de crescimento, representando o crescimento de plantas de Algodão cultivar CNPA precoce 1 em duas configurações diferentes, ou seja, na configuração 1,0 m x 0,2 m, 50.000 plantas.ha⁻¹ e na configuração 0,6 m x 0,2 m, 83.333 plantas.ha⁻¹, Figuras 3 e 4.

Nos gráficos expostos nas Figura 3 e 4, estão apresentado a fitomassa em gramas de plantas de algodão em duas configurações de plantio e população de plantas e duas configurações de plantio. Verifica-se, pelas Figuras 3 e 4 que quanto maior a densidade de plantio há um aumento na população de plantas e uma competição entre as próprias plantas entre si por espaços, fazendo com que o seu

desenvolvimento seja alterado, com diminuição na fitomassa (Figura 4). Enquanto que, numa densidade populacional menor (Figura 3), o crescimento é mais lento pois tem mais espaço para plantas se desenvolverem. Portanto, tendo-se uma configuração com 50.000 plantas por hectare e outra com 83.333 plantas por hectare, verifica-se que há uma diferença, conforme Figura 4, onde a inclinação é quase uma reta. Portanto, há uma aceleração no crescimento das plantas por procura de luz, que é o fator preponderante no crescimento da planta.

Na produção vegetal, é necessário entender como os processos que resultam no crescimento das plantas são afetados pelo clima. A temperatura do ar tem efeito direto no crescimento, pois determina a velocidade das reações bioquímicas que resultam na formação de tecidos vegetais (folhas, caules, flores, raízes). Dessa forma, com temperaturas baixas, o crescimento será reduzido ou nulo, enquanto com temperatura mais alta, o desenvolvimento será mais rápido.

‘No entanto, não é somente a temperatura que determina a velocidade do crescimento das plantas, mas também a luz solar, fonte de energia para a captura de carbono atmosférico necessário para a fabricação das células – 94% a 96% do tecido vegetal são compostos de carbono. Assim, em dias muito nublados, as plantas também crescem pouco, mesmo com temperatura adequada, pois falta energia para a fotossíntese.

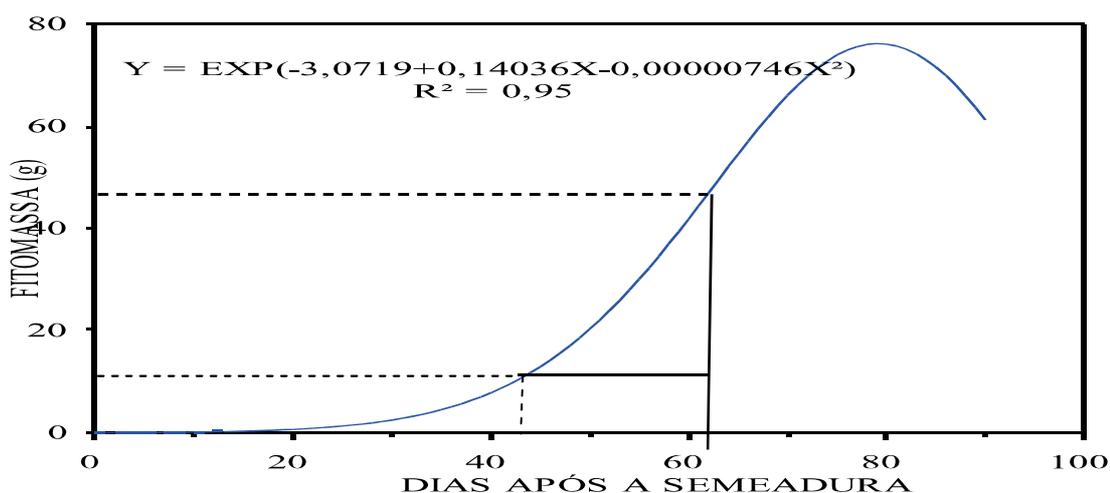


Figura 3. Evolução da fitomassa da cultivar algodão CNPA precoce 1 na configuração 1,0m x 0,2m 50.000 plantas.ha⁻¹. Sousa, PB. 1986.Fonte: Beltrão et al., (1990).

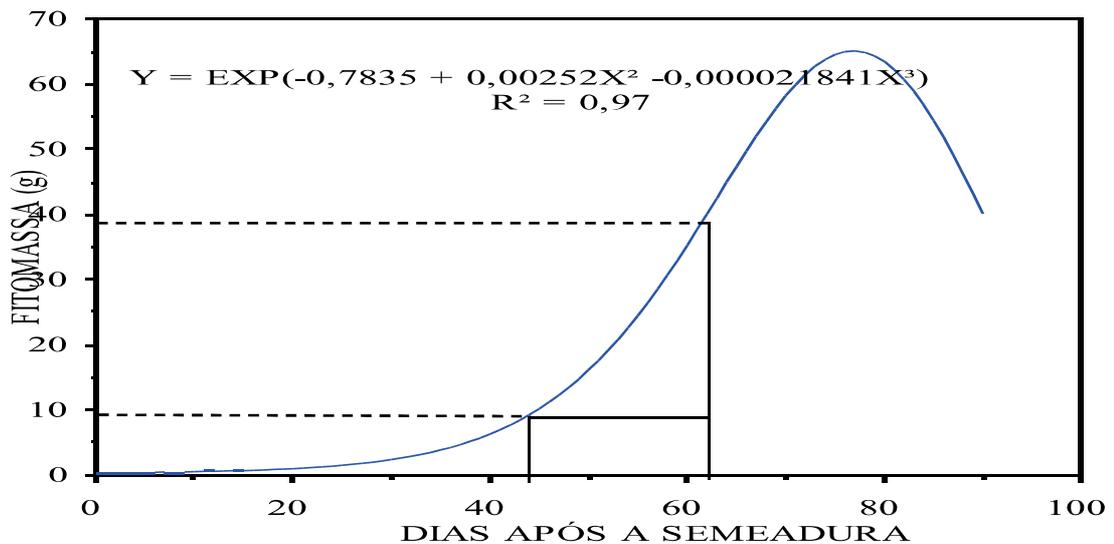


Figura 4. Evolução da fitomassa da cultivar algodão CNPA precoce 1 na configuração 0,6m x 0,2m, 83.333 plantas.ha⁻¹. Souza, PB. 1986. Fonte: Beltrão et al., (1990).

O crescimento é exponencial, e obedece a função exposta nas figuras 3 e 4. Onde Y representa a fitomassa em gramas (W), e X é o tempo em dias após a semeadura (t). Como o crescimento é dado em peso de matéria seca. Conclui-se então, que a quantidade de fitomassa está diretamente ligada a densidade populacional de plantas, ou seja, quanto mais plantas menos fitomassa, e quanto menos plantas mais fitomassa. Logo, a derivada primeira de Y em relação a X, resultará na velocidade de crescimento (VC),

$$VC = \frac{dw}{dt} \quad (17)$$

E diferenciando a Equação (17) chega-se a aceleração do crescimento (AC),

$$AC = \frac{d(VC)}{dt} \quad (18)$$

Os vegetais não são seres vivos imóveis, eles também respondem, através de movimentos, a estímulos externos. Essa resposta a um estímulo externo é chamada de tropismo, que deriva da palavra grega “trope” e significa volta, giro. Quando o vegetal cresce em direção à fonte de estímulo, chama-se de tropismo positivo, mas quando o vegetal cresce em sentido contrário à fonte de estímulo, chama-se de tropismo negativo. Fototropismo, gravitropismo (ou geotropismo) e tigmotropismo são os principais tipos de tropismos, sendo que ainda existem o hidrotropismo e o quimiotropismo.

O fototropismo é a resposta do vegetal quando o estímulo é a luz. Os caules tendem a crescer em direção à luz, assim apresentando fototropismo positivo. Esse movimento a crescer em direção à luz, assim apresentado fototropismo positivo. Esse movimento dá pela ação do hormônio auxina no alongamento celular. Quando a planta é iluminada apenas de um lado, a auxina vai para o lado menos iluminado. Dessa forma, as células desse lado ficam mais alongadas do que as células do lado que tem maior incidência de luz. É por isso que a planta se curva em direção a fonte de luz. No gravitropismo, também chamado de geotropismo por muitos, o fator que estimula o crescimento do vegetal é a força da gravidade da Terra. As auxinas também estão envolvidas nesse crescimento. No caso das raízes, elas apresentam gravitropismo positivo, ou geotropismo positivo, pois elas crescem em direção ao solo. Já os caules apresentam gravitropismo negativo ou geotropismo negativo, por crescerem em sentido contrário ao sentido da força da gravidade.

5. CONCLUSÃO

Os parâmetros TCA, TCR, AC E W são eficientes para identificar semelhanças entre a mecânica do crescimento de plantas e as leis do movimento de Newton. Inicialmente o TCR é o fator principal, pois por meio dele é possível chegar a velocidade envolvida no crescimento (TCA), e posteriormente a aceleração do crescimento (AC), e este último assume o papel de parâmetro mais importante, já que através dele chega – se ao produto de massa vezes aceleração ($W \times AC$), idêntico ao princípio fundamental da dinâmica. Outro fato importante a se destacar, é

que o desenvolvimento da fitomassa em função do tempo está diretamente ligada a densidade populacional das plantas.

APPLICATION OF THE LAWS OF THE MOVEMENT IN THE ANALYSIS OF PLANT GROWTH

ABSTRACT

Newton's laws of motion are used to determine much of what happens in our daily lives. Thus, the present study aims to seek similarities between the mechanical aspects of plant growth and its relation to Newton's laws of motion. Using some parameters used in the mechanics of growth as relative weight (W), absolute growth rate (TCA), relative growth rate (TCR) and acceleration of growth (AC). To demonstrate the similarities between the mechanics of plant growth and Newton's laws of motion.

KEY WORDS: 1. Newton's Laws; 2. Growth Analysis; 3. Aspects of the Mechanics of Growth.

REFERÊNCIAS

BELTRÃO, N.E. de M.; NÓBREGA, L.B. da.; VIEIRA, D.J.; AZEVEDO, D.M.P.; SOUZA, R. P. de. **Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo de curta duração cultivar cnpa precoce, no sertão paraibano Manejo cultural em algodoeiro herbáceo**. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília, DF. 25(7):991-1001,1990.

HALLIDAY, David, 1916. **Fundamentos de física, volume I: mecânica / David Halliday, robert Resnick, Jearl Walker**; tradução e revisão técnica Ronaldo Sergio de Biasi. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MESQUITA, Alessandro C.; FREITAS, Rupert B. de F. **Análise de Crescimento de Plantas**. Lavras. 2002. 9p.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física básica/H. Moysés Nussenzveig**. 4ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

PEIXOTO, Clovis P.; PEIXOTO, Maria de F. da S. **Dinâmica do Crescimento Vegetal (Princípios Básicos)**. Cruz das almas. Novembro de 2004. 20p.

SANTOS, Durvalina M. M. **Análise de Crescimento de Sorgo (Sorghum bicolor L. Moench)**. Disciplina de Fisiologia Vegetal, Unesp, Jaboticabal. 2004. 5p.

SHIMOJO, M.; IKEDA, K.; ASANO, Y.; & ISHIWAKA, R. **Introducing Viewpoints of Mechanics into Basic Growth Analysis – (I) Three Aspects of Growth Mechanics compared with Three Laws of Motion**. Julho de 2006. 3p.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros Vol 1- Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**; tradução e revisão técnica Paulo Machado Mors. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

YONG, Hugh D. **Física I / Yong e Freedman: Sears and Zemansky's University physics**. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.