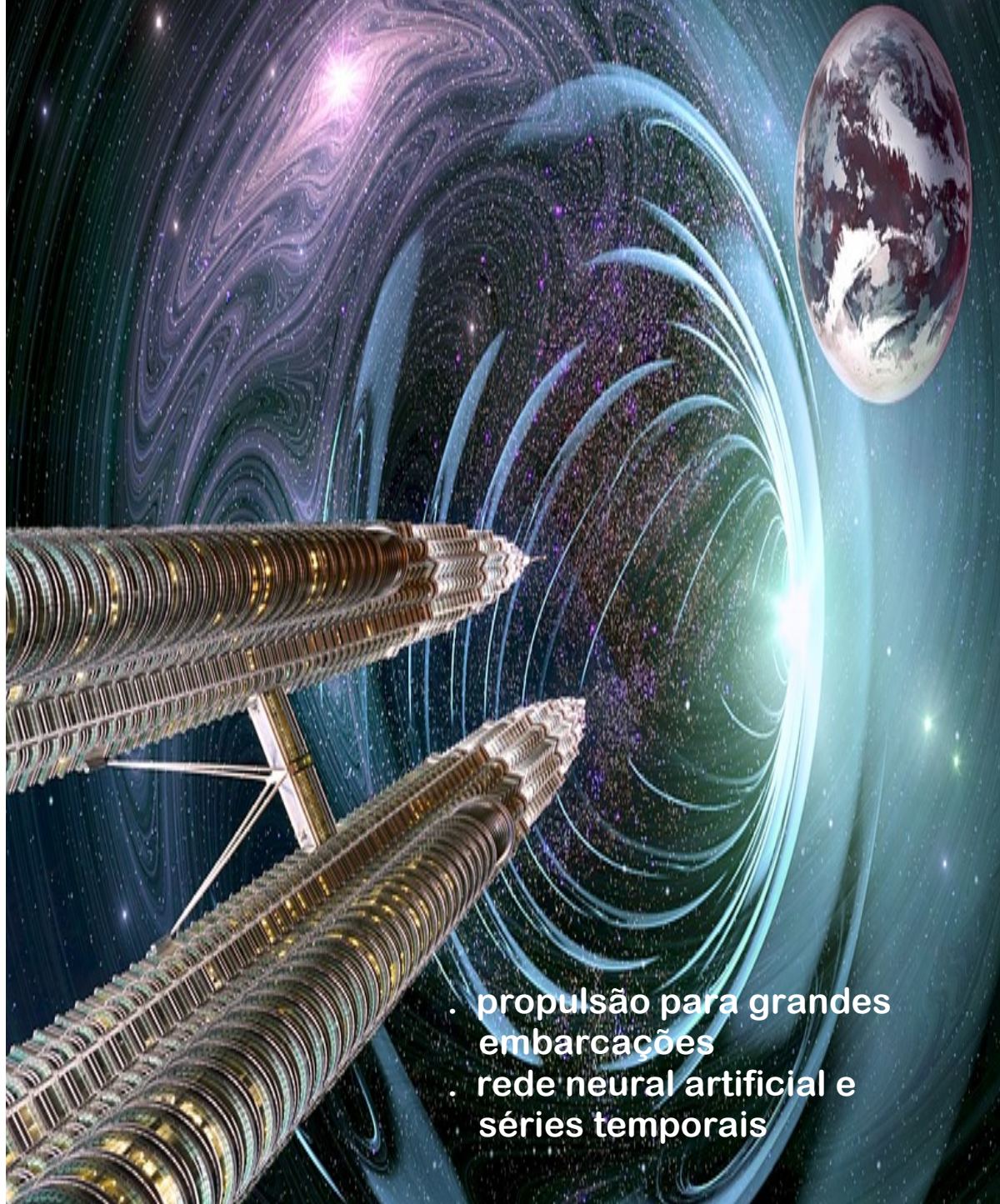


Navegação gravitacional: Curvando geodésicas



- propulsão para grandes embarcações
- rede neural artificial e séries temporais

índice

ARTIGOS ORIGINAIS

GRAVITATIONAL DRIVING: GEODESICS WARPED BY SOLITONS OF ACCELERATION

Nilo Serpa

1-20

ARKIDUCT PROPULSION IN LARGE MARINE VESSELS

David Noel

21-32

AVALIAÇÃO DE UMA REDE NEURAL ARTIFICIAL COMO MODELO REGRESSOR PARA SÉRIES TEMPORAIS

João Vitor Alves da Cruz, Bruno Alberto Soares Oliveira

33-45



Gravitational Driving: Geodesics Warped by Solitons of Acceleration

Nilo Serpa

Université des Sciences de l'Homme de Paris - ULSHP, France
Centro Universitário ICESP, Brazil
nilo.serpa@icesp.edu.br

Received: 11 Dec 2020 / Accepted: 04 Jan 2021 / Published: 21 Mar 2021.

Abstract. This article discusses the basic science to be considered as the background for a speculative technology of gravitational propulsion. Generalized functions are applied to the formalism of general relativity to introduce finite dynamic intervals of spacetime to be warped by acceleration solitons, the latter being interpreted as causing geodesic bends in the spacetime continuum.

Key words: soliton, propulsion, gravitational tail, warp-drive spacetime, spacetime interval.

Dieser Artikel beschreibt die Grundlagenforschung, die als Hintergrund einer spekulativen Technologie des Gravitationsantriebs betrachtet werden soll. Verallgemeinerte Funktionen werden auf den Formalismus der allgemeinen Relativitätstheorie angewendet, um die richtigen Abstände als dynamische Raumzeitintervalle zu definieren. Einsame Beschleunigungswellen werden so interpretiert, dass sie die geodätischen Abweichungen im Raumzeitkontinuum verursachen.

Schlüsselwörter: Soliton, Antrieb, Gravitationsschwanz, Warp-Drive-Raumzeit, Raumzeitintervall.

Prolog

Physicists (those who do physics, not just teach physics) are usually quite creative. However, judging by the ever-present disagreement as to the interpretation

CALIBRE - Revista Brasileira de Engenharia e Física Aplicada
Copyright © 2021, Centro Universitário ICESP.

of quantum mechanics, and, given the fact that the outcomes of quantum experiments agree extraordinarily with theory, whatever interpretation is given to those outcomes — especially after the irrefutable result of the violation of Bell's inequalities shown by Aspect and his team in the early 1980s —, most physicists repress the contribution of philosophy to understanding reality underlying the experiment. From the point of view of full science practice, I think this is largely unsatisfactory. Here, it is not a question of returning to the old realism along the lines of the discussion between Einstein and Bohr; yes, there must be a realistic model that expresses new relationships between objects in the physical world, a model that allows an objective interpretation, whether stochastic or not, but independent of the subject and the measuring apparatus (not least because there are no variables of the subject in quantum mechanics equations!). Furthermore, mental conditioning to the constructs derived from the first intuition of classical physics and our general perception of the world invariably lead to language problems that, in turn, lead to confused ideas in quantum mechanics.

The inescapable force of geometry on constructive thinking has become so remarkable since immemorial time that it deserved a philosophical exhortation from Pascal:

"Geometry [...] explained the art of discovering unknown truths; it is what it calls 'analysis', and it would be useless to talk about it, after so many excellent works that have been produced"[1]. (author's free translation).

That force undoubtedly characterizes our ways of successfully representing the most immediate reality, at least with regard to survival and exploratory interaction with the world, but it also imprisons us in a thought mold that is difficult to break. In a recent work, I tried to show that, although we create representations inserted in a Euclidean world, nothing prevents other types of relationships being established between objects in domains that are distant from intuition. Quantum entanglement can be an example of fact to be treated under somewhat different spacetime relations. It is not difficult for me to imagine a transformation of symmetry between space and time in such a way that the three spatial coordinates are converted into three time coordinates and the time coordinate is converted into spatial coordinate, configuring new relations in which two entangled particles interact with free transit of information over time (the three time dimensions: past, present and future) along a restricted one-dimensional space connection like an umbilical cord [11].

At the other extreme of reality, space, time and gravity are one and the same thing. In the future, if we are still here and if humanity is freed from its current meanness, when thinking about interstellar travel, we shall need to consider an effective form of space navigation in which spacetime itself propels the vehicle, and not conventional explosions or giant solar sails. In other words, it is no longer a matter of reproducing the concept of daily transport with vessels following point-by-point along a trajectory traced in a void merely receptive to the passage of errant objects. Spaceships shall have to be designed as part of spacetime itself

and not as something external to it. If the technology for such an achievement shall be attainable, only time can tell us. As for me, I prefer to think like Goethe:

The infinite cannot be said to have parts. All limited existences are in it, not as parts of it, but as infinity participants (free author's translation)[2].

Meanwhile, to go further, it is necessary to break old paradigms, albeit at first conjecturally. This will only be possible through the day-to-day application of philosophy to physicist's work. That is the spirit of this article.



Introduction

Space travel is one of the most challenging topics for contemporary science. Even with all investments to conceive innovative and sophisticated projects, a physical and intellectual barrier is placed before us: on the one hand, our technology remains fundamentally ballistic, that is, based on projectiles propelled by ignition on conventional fuels; on the other hand, we are stuck with the idea that we must navigate in space, replicating our earthly reality. In a way, the first barrier is conditioned by the second, because the mental model of human transport presupposes a displacement in space through an impulse. However, this may not be the only way to understand the transport of matter across the heavens.

Although it is not my goal to speculate on possible interstellar transport technologies, it is worth remembering just one milestone for its innovative theoretical content. I refer to the Alcubierre propulsion model. Basically, the Mexican theoretical physicist Miguel Alcubierre inverted the logic of calculation by using Einstein's equations to determine what type of star would compress space in one direction, expanding it in the opposite direction[4]. Obtaining a relatively simple solution, Alcubierre's propulsion, as it became known, would occur according to a spherical "warp bubble" (containing the starship), hollow of matter and energy, disconnected from outer spacetime, compressing it ahead and expanding it back.

The Alcubierre propulsion model is obtained from a classical-relativistic solution given by an asymptotically-flat warp-drive spacetime metric describing the spherical warp bubble, say

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + (dx - f(r_s)v_s dt)^2 + dy^2 + dz^2, \quad (1)$$

with a shape function $f(r_s)$ that defines the size and profile of the warp bubble, and where $r_s = \sqrt{(x - v_s t)^2 + y^2 + z^2}$. What emerges from this model is that

it actually enables timelike observers to travel at superluminal speeds, albeit at the cost of some fictional material with negative rest-mass energy. The bubble moves along the x -axis with an arbitrary velocity v_s (larger or smaller than the speed of light c).

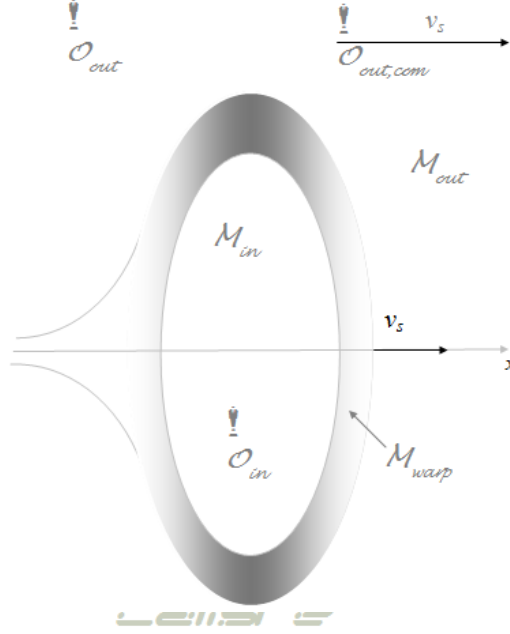


Fig. 1: A representation of the warp-drive spacetime.

Given the above, covering the existing warp-drive spacetimes, we have the general definition of an asymptotically flat vacuum background $\mathcal{M}_{out}$ enclosing a compact curved manifold with spherical topology (the warping zone $\mathcal{M}_{warp}$) that in its turn carries the traveler region embedded in as an enveloped flat extended compact manifold $\mathcal{M}_{in}$ endowed of a trivial topology. In Figure 1 it is considered a warp-drive spacetime scheme with axisymmetric front and rear parts along the direction of motion. The remote comoving observer $\mathcal{O}_{out,com}$ is moving away with constant three-velocity v_s relative to the timelike observer $\mathcal{O}_{out}$, supposed at rest. This three-velocity represents the velocity of the warped region relative to the remote observer $\mathcal{O}_{out}$, and may be slower, equal or faster than light speed with respect to the observer, a fact that, according to Bo-
brick and Martire (2021), corresponds to four-velocity of the comoving observer $\mathcal{O}_{out,com}$ characterized as timelike, null or spacelike. For all practical purposes,

the warp- drive spacetime is like a warped shell filled by exotic or ordinary matter that moves with constant velocity in relation to an external timelike observer. In principle, the inner compact manifold is modified by the presence of the shell, which leads to differences in times and lengths measured for the inner observer and some commoving remote observer. In short, as pointed out by Bobrick and Martire (2021), "general warp-drive spacetimes[...]form a continuous family which includes both trivial (flat or nearly-flat) and non-trivial (strongly curved) spacetimes"[5].

The standard tools applied to general warp-drives allow us to provide coordinate-invariant measures for the total energy, say

$$E = \int_{\mathcal{M}_{warp}} (-g^{00})^{-1} T^{00} \sqrt{-g} d^3 x_{out}, \quad (2)$$

where $(-g^{00})^{-1} T^{00}$ is the energy density. Recent proposals, variants of the original Alcubierre model — which is in fact a particular element of a wide set of warp-drive solutions with negative energy densities — suggest the plausibility of warp-drives without the need for the extreme properties of the Alcubierre metric, say the negative energy density and correlated tremendous energy demands, provided that the starship is built with a material of exceedingly high density[5] (so high that, of course, it is out of reach for the known science). Also, still from the seminal works of Alcubierre, Lentz demonstrated the existence of superluminal solitons in general relativity, considering positive-energy geometries with energy and momentum conditions conforming to a plasma without net momentum flux[6]. These solitons would contain a central region with minimal tidal forces in such way that Eulerian observers inside this region would remain stationary in relation to the soliton. As expected, positive-energy solitons appear to require the same energy order of magnitude as the original Alcubierre soliton, such as $E_{tot} \approx (few) \times 10^{-1} M_{\odot} v_s / c$ for a soliton of moderate dimensions (radius $R = 100m$ and shell thickness $w = 1m$)[6].

In spite of all the difficulties involved in these conceptions, they make clear the radical turn that we need to consider in order to advance on the subject .



I have devoted much of my scientific disposition to gravity. But as a theoretical physicist and astronomer with technological interests, I have always imagined how the theory could benefit us if we decided to definitely go to the stars (in fact, although it seems the opposite, we are not yet seriously engaged in this; we are busy with trifles, petroleum and how it will be the next cell). Certainly,

we would have to think differently, conceiving a new way of navigating space, taking advantage of gravity, perhaps. I spent a lot of time thinking about it freely, playing with ideas, some naive, others very serious, until at last I decided to tackle the topic from the simplest things. In particular, two very distinct and very distant images sparked interesting insights during my most recent years of work: one came from the beginnings of quantum mechanics, the old guide-wave model of De Broglie, and the other from the vision of my son, Tane Kanope, surfing on the beaches of Rio de Janeiro. In fact, the general idea is very simple. Navigating gravity means making it accelerate matter. Thus, a material object could, so to speak, "surf" a gravitational warp of a very special type, a finite-energy classical stable solution of conservative non-linear differential field equations in a 4-dimensional space, an acceleration soliton. As in De Broglie's guide-wave, where the particle is guided by the wave crest, the material object is "piloted" by the soliton.

The question connected with such insights is the following: since space, time and gravitation are facets of a unique and indissoluble reality, and, assuming it is possible to develop a technology of gravitational propulsion, what would the geodesics of spacetime look like deformed by the gravitational warp? The answer to this question inevitably leads to the consideration that, in such conditions of movement, matter does not transfer *ipsis litteris* through the common space but through gravity.

A way of conceiving gravitational propulsion would be to create a queer acceleration wave — a soliton — in the spacetime woof. To create artificially such a soliton we could think of a powerful eletromagnetic field capable of bending geodesic lines according to the shape of the soliton. The material object coupled to the wave must "surf" it following the deformation caused in the geodesics. I do not ignore the difficulties of such an achievement, if possible, starting with the enormous amount of energy needed to create such a deformation in spacetime¹. To bending the geodesics of spacetime to the point of producing a soliton of the required magnitude is completely out of question in our current technological stage, though we could do some speculations in the direction indicated by Füzfa[3]. In addition, a hypothetical starship itself, built in space with the support of a space station, would have to generate such a field, an unthinkable thing in terms of the existing engineering and energy sources (alternatively, an external device could generate such a field, but there would be the inconvenience of a one-way tour). However, as I said, my aim is not to speculate about the technology that could eventually perform this task, nor to consider space vehicles and all the difficulties involved in a project like this. I just want to imagine what those deformed geodesics would be like, simply establishing a consistent set of basic conjectures ("educated guesses" in the words of Thorne[7]) .

¹ According to the equivalence principle, we may generate a gravitational field when generating an electromagnetic field, although the former is very weak compared to the second, so that to make large spacetime deformations it would be needed extremely large electromagnetic fields.

Solitons are non-dissipative objects. They are not exactly oscillations, since these translation waves are solitary "elevations" without corresponding posterior "cavities". As solutions of non-linear equations, solitons propagate along particular directions without changing shape (Figure 2). The non-linearity responsible for the instability of the oscillations is compensated by the interaction with the environment. In the case of a gravitational acceleration soliton, the interaction with the field itself warrants its stability. In any case, non-linearity tends to make the oscillation profile appear more abrupt in the front and slightly softer in the rear, a phenomenon commonly known as "shock wave".

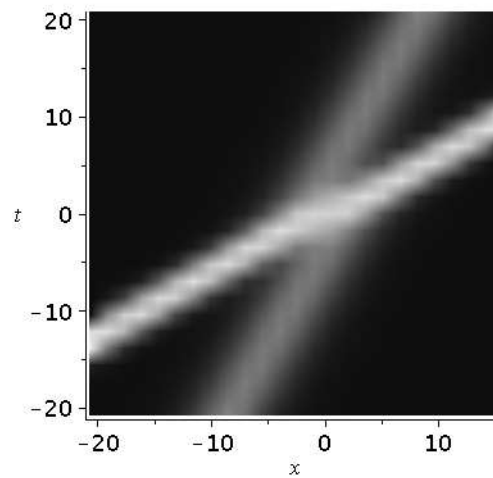


Fig. 2: *Interaction between two solitons.*

Curiously, the idea of starships guided by solitons has already been the subject of science fiction [8], however, in a superficial way since solitons do not lose energy causing emission of a large amount of radio interference. Of course, on a short time scale, energy dissipation can be disregarded but, on large scales, small energy losses must be taken into account, so that the amplitude of the soliton shall gradually decline, fading at the end. Thus, the usability of the concept shall depend on the intensity of the phenomenon associated with the distance to be overcome in order to control the disastrous effects that could occur from the impact of the soliton on celestial objects. Furthermore, the expected speeds are significant compared to the current ballistics 15 km per second, but I would be moderate in imagining at first speeds not so dizzyingly close to that of light.

But there is another important aspect ignored by science fiction, which is the natural basis for the applicability of acceleration waves. As in all conjectural work, at least some more universal fundament is needed to support the con-
jec-

ture in its initial moments, when it is expected that it can survive the tests of logical consistency and plausibility, insofar as it is known that there is much to be clarified about the world. However, caution is needed. In cosmology, for example, despite the incredible progress of the past 30 years, it is still common to conjecture from a broader conjecture. It is often just what we can do; the problem is how to do it without giving up the physical nexus (not necessarily causal) between both. What I really mean is that the universal fundament I mentioned is the hypothesis of the existence of a conserved acceleration as a remaining "tail" effect from the *paleo*-gravitational field (the universe as an accelerator since its early stages). In a way, my approach is related to Mach's Principle, according to which the inertial field stems from the entire mass of the universe. For, if gravity and inertia are sides of the same phenomenon, therefore having their origins in mass, and, since we have enough evidence to believe that gravitational manifestations are directly associated with local sources, we can assume that the predominance of inertia at great distances from the local masses can only come from the global mass of the universe, since it would be unacceptable to assume a force that increases with the distance from the local source. Therefore, one can imagine an accelerating universe, since the mass of a body depends on its acceleration in relation to the inertial system (non-local) determined by the rest of the universe.

What follows is conceptually related to the cosmic acceleration induced by the matter of the universe and the propagation of its effects through non-linear deformations in the surroundings of expressive sources of gravitational radiation. Considered the tail effect in the interpretive line mentioned by Bondi [9], the diffusion of those delayed perturbations seems to behave like solitons.

1 Classical Lagrangian approach: sine-Gordon and Korteweg - de Vries equations

Solitons are self-sufficient energy solutions of the equations of motion, acting like elementary objects (I prefer not to establish *a priori* analogies with elementary particles, in order to ensure consistency with my ideas about the elementary complexion of spacetime[10]). I start with a brief reminder of the most well-known approaches to solitons, paving the way for the theory I will discuss.

So, let me consider a scalar field ϕ submitted to Lagrangian formalism:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \phi} - \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\phi}} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \phi'} \right) = 0, \quad (3)$$

with

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right)^2 - \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 \right] - m^2 (1 - \cos \phi). \quad (4)$$

Substituting Lagrangian density in the former differential equation, we gain the so-called sine-Gordon equation

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + m^2 \sin \phi = 0, \quad (5)$$

perhaps the most popular equation with a non-linear solitary wave solution. For the system at the lowest energy level (static solution), we must write $-\phi'' + m^2 \sin \phi = 0$.



Now, a linear dispersive one-dimensional perturbation propagating along the x -axis would satisfy the equation

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial^3 \phi}{\partial x^3} = 0.$$

Contrarily, under $\tilde{n}$ -linear regime, neglecting the dispersion term $\partial^3 \phi / \partial x^3$, propagation would be governed by

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \phi \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0.$$

Thus, a perturbation in which dispersivity is balanced by $\tilde{n}$ -linearity would require the presence of both expressions in the equation of motion, something like

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \phi \frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial^3 \phi}{\partial x^3} = 0. \quad (6)$$

Equation (6) is the well known Korteweg - de Vries equation. Going through the assumption

$$\xi = \dot{x} - wt \Rightarrow \dot{x} = \xi + wt,$$

we deduce

$$\partial \dot{x} = \partial \xi;$$

$$t = (\dot{x} - \xi) w^{-1} \Rightarrow \partial t = -w^{-1} \partial \xi;$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = -w \frac{\partial}{\partial \xi};$$

$$\frac{\partial}{\partial \dot{x}} = \frac{\partial}{\partial \xi}.$$

Note that $\dot{x}$ is the generalized coordinate with speed dimension, and w is the acceleration. Since $\partial t = -w^{-1} \partial \xi$, we can return to equation (6) and write

$$(\phi - w) \frac{\partial \phi}{\partial \xi} + \frac{\partial^3 \phi}{\partial \xi^3} = 0.$$

Direct integration furnishes

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial \xi^2} = w\phi - \frac{\phi^2}{2}.$$

Multiplying by $\partial\phi/\partial\xi$,

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \frac{\partial \phi}{\partial \xi} \frac{\partial \phi}{\partial \xi} = w\phi \frac{\partial \phi}{\partial \xi} - \frac{\phi^2}{2} \frac{\partial \phi}{\partial \xi},$$

and so

$$\frac{\partial \phi}{\partial \xi} \frac{\partial \phi}{\partial \xi} = w\phi \frac{\partial \phi}{\partial \xi} - \frac{\phi^2}{2} \frac{\partial \phi}{\partial \xi}.$$

Integrating once more,

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right)^2 &= w \frac{\phi^2}{2} - \frac{\phi^3}{6} \therefore \\ \left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right)^2 &= w\phi^2 - \frac{\phi^3}{3}. \end{aligned} \tag{7}$$

Since hyperbolic second-order partial differential equations encompass wave-like solutions, a perfunctory mathematical analysis allows us to distinguish two diffusion possibilities, namely, 1) all the perturbation travels at once at a given speed and 2) a part of the perturbation is left behind forming a "tail". For the case of the transmission of "gravitational information" associated with loss of mass, Bondi and colleagues were interested in knowing whether gravitational waves obeyed Huygens' principle, or whether tails were produced (in fact, these tails can be obtained from additive terms to the wave equation, or considering the propagating wave in a space of even number of spatial dimensions)[9]. A noteworthy aspect of this investigation was the admission by Bondi that many of the strange features which appeared throughout the work were due more to the method chosen than to the equations themselves (he applied the same treatment to the gravitational wave problem as to the equation of the ordinary scalar wave, recognizing that it was not the simplest way, but the most promising for the case of gravitational waves)[9]. From a heuristic argument on the class of solutions of the wave equation, in particular the class of outward travelling waves, it was possible to generate expressions that tend to zero, which might, in non-linear case, represent tails.

Based on the explanations above, gravitational waves seem to produce tails, that is, parts which fall behind the rest and propagate below the speed of light. Suppose that one of these retarded effects is a specific type of solitary wave, a soliton; as such, it must preserve its shape for a long time, even after a scattering process, until the balance between nonlinearity and dispersivity finally disappears. So, let us assume there is a soliton as a gravitational tail effect reminiscent of the Big-Bang, initially propagating with a speed very close but not equal to c . Due to the native $\tilde{n}$ -linearity of the early days of the Universe, assuming its age around $4.42 \times 10^{17} s$, and adopting an anisotropic view of the

cosmic acceleration, we would say that now, since in principle there are no vestiges of such a soliton in the vicinity of the Via-Lactea, $\xi = \dot{x} - wt \approx 0$, while $\partial\phi/\partial\xi$ is fading. Since the gravitational tail is a retarded effect, it can be imagined that differences in the acceleration amplitude over cosmological time would be responsible in part for the differences in acceleration in different regions of the Universe, as the solitary acceleration wave would affect the expansion rate locally.

The problem with this approach is that we once again put ourselves in a privileged position; after all, why would the amplitude of the soliton be zero exactly "here", in Via-Lactea? I do not intend to open this discussion, which should invariably lead to a debate around the anthropic principle. For all practical purposes, in the neighborhood of Via-Lactea, with $\xi \approx 0$ and $\partial\phi/\partial\xi \approx 0$, equation 7 is reduced to

$$0 = w\phi^2 - \frac{\phi^3}{3},$$

where either $\phi = 0$ or $\phi = 3w$.

2 Spacetime intervals

From my previous research [10], there are two basic premises for what will follow: the understanding that 1) is the spacetime itself which moves as long as it expands and 2) gravitational attraction between bodies tends to squeeze or compress them as they pull one another toward their center points, which leads to a compression or a squeezing of the spacetime contained between them; a geodesic interval is precisely an element of spacetime under compression or squeezing. An acceleration soliton will necessarily occur in these circumstances, regardless of the intensity of the compression or squeezing.

In my approach, the expression of the invariant commoving element in generalized functions is

$$ds^2 = g_{\mu\nu} d\langle x_\mu - \varepsilon_\mu \rangle d\langle x_\nu - \varepsilon_\nu \rangle, \quad (8)$$

where ε_μ and ε_ν are fixed distances from a point on the spherical boundary of a gravitational manifold called the G-closure. Putting $d\langle x_\mu - \varepsilon_\mu \rangle d\langle x_\nu - \varepsilon_\nu \rangle = d\langle x - \varepsilon \rangle_\mu d\langle x - \varepsilon \rangle_\nu$ and applying the variational principle on the commoving element, we get

$$\begin{aligned} \delta \int_A^B ds &= \delta \int_A^B \sqrt{g_{\mu\nu} d\langle x - \varepsilon \rangle_\mu d\langle x - \varepsilon \rangle_\nu} \delta \int_A^B \frac{g_{\mu\nu} d\langle x - \varepsilon \rangle_\mu d\langle x - \varepsilon \rangle_\nu}{\sqrt{g_{\mu\nu} d\langle x - \varepsilon \rangle_\mu d\langle x - \varepsilon \rangle_\nu}} \\ &= \delta \int_A^B g_{\mu\nu} \frac{d\langle x - \varepsilon \rangle_\mu}{ds} \frac{d\langle x - \varepsilon \rangle_\nu}{ds} ds. \end{aligned} \quad (9)$$

Some manipulations and substitutions lead easily to the first form of the geodesics equation in generalized functions,

$$\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial \langle x - \varepsilon \rangle_k} \frac{d\langle x - \varepsilon \rangle_\mu}{ds} \frac{d\langle x - \varepsilon \rangle_\nu}{ds} - 2 \frac{d}{ds} \left(g_{\mu k} \frac{d\langle x - \varepsilon \rangle_\mu}{ds} \right) = 0. \quad (10)$$

where the $\langle x - \varepsilon \rangle_j$ are compression or squeezing intervals under the rules of Macaulay brackets. One must realize that this formulation in generalized functions aims to focus spacetime intervals, not particles. The introduction of these intervals has the advantage that we can understand spacetime as a geodesic woof in which the arc elements are constantly expanding, or subject to stretching or constriction caused by very massive objects.

3 Weak effects from gravitational waves

To generalize the idea discussed in the previous paragraph, I will consider a small perturbation in the spacetime metric, say

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}, |h_{\mu\nu}| \ll 1. \quad (11)$$

As the targets of the theory are not particles but spacetime intervals, the relevant object to observe the effect of the wave is the spacetime interval itself. Considering the linear regime in the transverse-traceless gauge (TT), we may write

$$h^{TT} = \eta^{\mu\nu} h_{\mu\nu}^{TT} = 0. \quad (12)$$

For a time-like vector t^α ,

$$h_{0\mu}^{TT} = t^\alpha h_{\alpha\mu}^{TT} = 0. \quad (13)$$

Taking into account the freedom of choice of the gauge², it is possible to verify that the TT components of the perturbation are in fact the only ones to satisfy a wave equation in any coordinate system. Therefore, the radiative degrees of freedom of spacetime are represented only by the TT components of the perturbation.

In the absence of a gravitational wave, the spacetime interval is simply

$$L_0 = \int \langle x - \varepsilon \rangle_\mu^0 dx = \langle x - \varepsilon \rangle_\mu. \quad (14)$$

The passing of a wave determines that

$$L = \int \langle x - \varepsilon \rangle_\mu^0 \sqrt{g_{xx}} dx = \langle x - \varepsilon \rangle_\mu \sqrt{1 + h_{xx}^{TT}(t, z = 0)}. \quad (15)$$

Note that the constant of integration is automatically absorbed since it is included in the process, so that, at $x = \varepsilon$, the result will be 0.

4 Warped geodesics

The theoretical basis of the explanation below is well known. Going through the reasoning mentioned above in Section 2, it is now interesting to remember

² The gauge transformation does not invalidate the linear regime, since it only redefines the perturbation that remains small.

the customary approach, considering a static metric $ds^2 = -e^{2\phi(x^1, x^2, x^3)} dt^2 + \xi_{ij}(x^1, x^2, x^3) dx^i dx^j$ as background for the treatment of null geodesics ($ds^2 = 0$). It is worth remembering that time and space are not distinguishable in a dynamic spacetime permeating massive objects such as a binary of black-holes. On the other hand, it is convenient to separate them in a Euclidean manner at the vicinity of planets, for example, where spacetime is static (or almost static); the separation 3 + 1 (3 components of space and 1 of time) is only the common way we organize objects, how we establish their relationships³. This convenience facilitates the approach of the problem, allowing to consider a geodesic of the light-type metric in equivalence to a null-geodesic of the stationary spacetime (static metric)⁴.

Thus, it is useful to define a light-type metric, say λ_{ij} , which leads to

$$\tilde{t}^2 = \lambda_{ij} \tilde{x}^i \tilde{x}^j, \quad (16)$$

with $x^i = x^i(s)$, $t = t(s)$, and $\lambda_{ij} = e^{-2\phi} \xi_{ij}$ (the "tilde" means d/ds , while the "wide tilde" means $\partial/\partial s$). Usually it is tried to prove that a geodesic of the light-type metric, parameterized by the arc length, is equivalent to a null geodesic of the static metric ($e^{2\phi} \tilde{t}^2 = \xi_{ij} \tilde{x}^i \tilde{x}^j$), according to the spatial geodesic equations and the time equation $e^{2\phi} \tilde{t} = E$.

In fact, I will take this way, however, with two additional assumptions, namely:

1. the variable x^i are replaced by $X^i = \langle x - \varepsilon \rangle^i$;
2. the proposed Lagrangian will include the term " $-m^2 (1 - \cos \vartheta)$ ", where $\vartheta = f(X^i)$.

In this study, I will take as basis a sine-Gordon model, although there are others with solitonic properties. In addition, sine-Gordon solitons are especially interesting in physics, including solitons originating in bosonic sine-Gordon theory, which correspond to fermionic states of the Thirring model. However, as I noted earlier, I will not associate solitons with elementary particle states, since the elementary objects in present theory are tiny intervals of spacetime.

General sine-Gordon models are typified by a simple action expression, such as

$$S_{SG}(\Phi) = \int d^n x \left[\frac{1}{2} (\partial_\mu \Phi)^2 + u \cos(\beta \Phi) \right].$$

So, let us take the Lagrangian form

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \left(\lambda_{ij} \frac{dX^i}{dt} \frac{dX^j}{dt} \right) - m^2 (1 - \cos \vartheta). \quad (17)$$

³ Nothing prevents us from establishing a 1 + 3 separation (1 component of space and 3 of time), thus describing new relationships between objects (I used this to describe quantum entanglement [11]).

⁴ By the way, we have a static spacetime if it is stationary and admits a family $\mathcal{M}$ of space-type hypersurfaces orthogonal to its Killing field at any point.

Applying the Euler-Lagrange equation

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{X}^i} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial X^i} = 0, \quad (18)$$

we have

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{X}^i} = \lambda_{ij} \frac{dX^j}{dt}, \quad (19)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial X^i} = \frac{1}{2} \frac{\partial \lambda_{ij}}{\partial X^i} \frac{dX^j}{dt} \frac{dX^j}{dt} - m^2 \sin \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i}, \quad (20)$$

and so,

$$\frac{d}{dt} \left(\lambda_{ij} \frac{dX^j}{dt} \right) - \frac{1}{2} \frac{\partial \lambda_{jk}}{\partial X^i} \frac{dX^j}{dt} \frac{dX^k}{dt} + m^2 \sin \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} = 0. \quad (21)$$

But $X^i(t) = X^i(s(t))$, so that

$$\frac{dX^i}{dt} = \frac{\partial X^i}{\partial s} \frac{ds}{dt} = \frac{\widetilde{X}^i}{\tilde{t}}. \quad (22)$$

Combining the last three expressions we gain

$$\frac{d}{dt} \left(\lambda_{ij} \frac{dX^j}{dt} \right) - \frac{1}{2} \frac{\partial \lambda_{jk}}{\partial X^i} \frac{dX^j}{dt} \frac{dX^k}{dt} + m^2 \sin \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} = 0; \quad (23)$$

$$\frac{d}{dt} \left(e^{-2\phi} \xi_{ij} \frac{\widetilde{X}^j}{\tilde{t}} \right) - \left(-2 \frac{\partial \phi}{\partial X^i} \xi_{jk} + \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \right) \frac{\widetilde{X}^j \widetilde{X}^k e^{-2\phi}}{2\tilde{t}^2} + m^2 \sin \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} = 0. \quad (24)$$

The fact that t is parameterized by s , $t = t(s)$, with $e^{2\phi} \tilde{t} = E = \text{constant}$, allows to write

$$\frac{e^{-2\phi}}{\tilde{t}} \frac{d}{dt} \left(\xi_{ij} \widetilde{X}^j \right) + \frac{\partial \phi}{\partial X^i} \xi_{jk} \frac{\widetilde{X}^j \widetilde{X}^k e^{-2\phi}}{\tilde{t}^2} - \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\widetilde{X}^j \widetilde{X}^k e^{-2\phi}}{2\tilde{t}^2} + m^2 \sin \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} = 0; \quad (25)$$

$$\tilde{t} \frac{d}{dt} \left(\xi_{ij} \widetilde{X}^j \right) + \frac{\partial \phi}{\partial X^i} \xi_{jk} \widetilde{X}^j \widetilde{X}^k - \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\widetilde{X}^j \widetilde{X}^k}{2} + m^2 \tilde{t}^2 e^{2\phi} \sin \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} = 0. \quad (26)$$

With the arc length parameterization, we have

$$\lambda_{ij} \frac{dX^i}{dt} \frac{dX^j}{dt} = 1,$$

$$e^{2\phi} = \xi_{ij} \frac{dX^i}{dt} \frac{dX^j}{dt},$$

$$e^{2\phi} \tilde{t}^2 = \xi_{ij} \widetilde{X}^i \widetilde{X}^j,$$

which allows writing

$$\frac{d}{ds} \left(\xi_{ij} \widetilde{X}^j \right) + \frac{\partial \phi}{\partial X^i} e^{2\phi} \tilde{t}^2 - \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\widetilde{X}^j \widetilde{X}^k}{2} + m^2 \tilde{t} E \sin \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} = 0. \quad (27)$$

This expression is the Euler-Lagrange modified sine-Gordon type equation of the geodesic line referring to the metric $ds^2 = -e^{2\phi(X^1, X^2, X^3)} dt^2 + \xi_{ij}(X^1, X^2, X^3) dX^i dX^j$, in which an arbitrary interval subject to expansion or contraction is warped by a soliton; the corresponding Lagrangian density is

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \left(-e^{2\phi} \tilde{t}^2 + \xi_{ij} \widetilde{X}^i \widetilde{X}^j \right) - m^2 \tilde{t} E (1 - \cos \vartheta) \quad (28)$$

for

$$\frac{d}{ds} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \widetilde{X}^i} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial X^i} = 0, \quad (29)$$

and the arbitrary constant E matches the freedom of the null geodesics affine parameter, being interpreted as the expansion energy contained in the world-line intervals defined at Section 2. In the spatial infinity, admitting that field ϕ becomes asymptotically constant, $\lim_{r \rightarrow \infty} \phi = \text{const.}$, or that it is cancelled, assuming the limit of small ϑ we gain

$$\frac{d}{ds} \left(\xi_{ij} \widetilde{X}^j \right) - \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\widetilde{X}^j \widetilde{X}^k}{2} + m^2 \vartheta \tilde{t} E \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} - \frac{1}{6} \vartheta^3 \tilde{t} E \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} + \dots = 0,$$

with remaining terms $\mathcal{O}(\vartheta^5)$ and higher. For $\vartheta = \beta X^i$,

$$\frac{d}{ds} \left(\xi_{ij} \widetilde{X}^j \right) - \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\widetilde{X}^j \widetilde{X}^k}{2} + \tilde{t} E \beta^2 X^i \left(m^2 - \frac{1}{6} \beta^2 (X^i)^2 + \dots \right) = 0,$$

and the action is cast in the form

$$S_{MSG}(X^i) = \int d^2 x \left[\frac{1}{2} \left(-e^{2\phi} \tilde{t}^2 + \xi_{ij} \widetilde{X}^i \widetilde{X}^j \right) - m^2 \tilde{t} E (1 - \cos \beta X^i) \right]. \quad (30)$$

However, one can think of a more coarse approximation for a very small theta, nearly vanishing the term in $\sin \vartheta$, say

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds} \left(\xi_{ij} \frac{\partial X^j}{\partial s} \right) &= \frac{1}{2} \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\partial X^j}{\partial s} \frac{\partial X^k}{\partial s}; \\ \frac{\partial}{\partial s} \left(\xi_{ij} \frac{dX^j}{ds} \right) &= \frac{1}{2} \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\partial X^j}{\partial s} \frac{\partial X^k}{\partial s}; \\ \partial \left(\xi_{ij} \frac{dX^j}{ds} \right) &= \frac{1}{2} \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\partial X^j}{\partial s} \frac{\partial X^k}{\partial s} \partial s; \\ \partial \left(\xi_{ij} \frac{dX^j}{ds} \right) &= \frac{1}{2} \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\partial X^j}{\partial s} \partial X^k. \end{aligned}$$

We can integrate this approximation and obtain an expression for the spatial metric from a new parameterization. So, by direct partial integration, we have

$$\frac{dX^j}{ds} = \frac{X^k}{2\xi_{ij}} \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\partial X^j}{\partial s} \dots$$

$$\frac{X^k}{2\xi_{ij}} \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} = 1;$$

$$\partial \xi_{jk} = \frac{2\xi_{ij}}{X^k} \partial X^i.$$

Observing the set of indexes and integrating once more, we write the spatial metric as

$$\xi_{jk} = 2\xi_{ij} \frac{X^i}{X^k}.$$

Yet, this result has the disadvantage of not containing internal energy E as an impacting factor in the metric relation (in a quantum approach of spacetime, it would be reasonable to imagine that the expansion energy of the geodesic arc interval would play a significant role in this relation). This can be easily solved by resuming equation (27) and repeating the last calculation sequence in the same order, however, previously dividing the entire expression by E , so that

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds} \left(\xi_{ij} \widetilde{X}^j \right) + \frac{\partial \phi}{\partial X^i} E \tilde{t} - \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\widetilde{X}^j \widetilde{X}^k}{2} + m^2 \tilde{t} E \sin \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} &= 0; \\ \frac{1}{E} \frac{d}{ds} \left(\xi_{ij} \widetilde{X}^j \right) + \frac{\partial \phi}{\partial X^i} \tilde{t} - \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} \frac{\widetilde{X}^j \widetilde{X}^k}{2} + m^2 \tilde{t} \sin \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial X^i} &= 0; \\ \frac{EX^k}{2\xi_{ij}} \frac{\partial \xi_{jk}}{\partial X^i} &= 1 \therefore \\ \xi_{jk} &= \frac{2\xi_{ij}}{E} \frac{X^i}{X^k}. \end{aligned} \tag{31}$$



Note that the time variable t is related to the intervals of the spatial metric $\xi_{ij}(X^1, X^2, X^3)$ considering equation (16). The representation by singularity functions brings, as I suggested earlier, advantages to the understanding, starting with the configuration of real and finite spacetime sections that can be treated as the elementary constituents of the cosmic woof [12] (each spacetime cell — very small, however, finite — can be observed under the passage of a soliton; the energy is then transferred to the cells along the worldlines, which could cause local variations in the rate of expansion of the universe). Furthermore, it becomes possible to determine some topological relationships of interest for the physical interpretation of the formalism[12].

Certainly, the model expresses a more complex non-linear configuration, presenting greater difficulty in obtaining its soliton-type solutions (in fact, the name soliton is now used in a generalized way, even if the corresponding equation is not integrable in the mathematical sense).

5 Enhancing the quantum view of spacetime

Some physicists seem determined to eliminate time from physics. I can think of some reasons for this, but I believe that the main one is the natural human difficulty to get rid of the only type of spacetime relationship that we actually experience, namely, that of common sense. The goal of eliminating time won't find its advocates, no matter how strange the ideas discussed, or which bring more problems than solutions. Personally, I am skeptical about achieving success with a complete and unified model that is time-free and considers a multiverse; not because of personal preference, but because I still believe in a single universe governed by few general principles and understandable by a relatively simple theory based on a relativistic regime in that the speed of light is held fixed.

If not, let us see a brief argumentation. We can classify the laws of the universe into "ontological laws" — that is, which concern the essence of the phenomena and start from the first principles that are supposed to regulate a single universe (ours) from its origins —, and "methodological laws", which govern experiments carried out at observable scales. It is obviously assumed that the latter are unequivocally connected to the former, otherwise ontological laws would have no relation to the observable world. This is why theories like that of strings are not very productive in this way, since they open a wide range of possible methodological laws: not establishing the first principles translated into initial conditions of the universe, string theory, despite its great beauty, is not able to indicate to us which of its countless solutions (representations of methodological laws) is the one that applies to our universe, giving rise to an infinite number of parallel universes. Under these conditions, we cannot even make unambiguous predictions about anything that is observable in our own universe! I do not consider this a satisfactory alternative, but I hope that string theory, or another equivalent, can shed light on this issue in the near future.

I understand that a creative imagination is essential for physicists, otherwise we wouldn't be able to do physics. However, not everything imagined corresponds to reality. We have lived for some time with the expectation of a satisfactory quantum theory of gravity. For my part, at the moment I prefer to imagine a quantum of spacetime thought in terms of general relativity in an expanding four-dimensional continuum. It is a perfectly fitting hypothesis based on a few principles. I also believe that in four dimensions it is possible to describe the universe as long as we are open to thinking about new four-dimensional relationships between objects. Furthermore, I believe that time is not only real but is the very reason for creation, and that space and time interchange roles in very particular situations. I think that in this line of reasoning it is possible to

establish a quantization model consistent with general relativity, since what we mean by gravitational field does not carry the same meaning as other fields.

So, if we assume the universe is expanding, we must assume that its elementary constituents are expanding[10]; in a first glimpse of spacetime quantization, we must apply the principle of uncertainty over the product of the interval (similar to position) by its rate of variation due to expansion (similar to speed), in such a way that

$$\Delta X^i . \Delta \widetilde{X}^i \approx \hbar.$$

This approach, however, concerns research that is still ongoing and is not part of the present discussion.

6 Final remarks and conclusion

Ambitious mega-projects have been considered among physicists who venture to imagine our future as an interstellar species. Kaku, for example, understands that an anthropic magnetic field around the Martian equator would be possible in a terraforming process, in order to reproduce the cosmic protection that we have on Earth [14]. Basically, it would be necessary, according to Kaku, to build a superconducting network of large magnets surrounding the red planet. It would undoubtedly be an incredible feat. However, a colossal endeavor like this is far beyond the technological capacity of the 21st century. But it is in this line of "educated guesses" that the idea of a solitonic gravitational propulsion is inserted.

The theoretical foundation of mega-projects for generating magnetic fields capable of significantly bending spacetime lies in well-known physics. The Einstein-Maxwell equations for the current loop and solenoid relate the electromagnetic and the gravitational fields by coupling them through the Ricci tensor $R_{\mu\nu}$ and the four-current density J^ν in the system

$$\begin{cases} R_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}^{(em)} \\ \nabla_\mu F^{\mu\nu} = \mu_0 J^\nu \end{cases}$$

where $T_{\mu\nu}^{(em)} = -\frac{1}{\mu_0} (g^{\alpha\beta} F_{\mu\alpha} F_{\nu\beta} - \frac{1}{4} g_{\mu\nu} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta})$ is the Maxwell stress-energy tensor, and $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$ is the Faraday electromagnetic field tensor. As usual, $g_{\mu\nu}$ is the metric, and A_μ is the four-vector potential. Therefore, the spacetime woof is curved by the energy of the electromagnetic field in accordance with general relativity. From this system, taking into account some additional considerations, Füzfa establishes the dimensionless magneto-gravitational coupling for the current loop and the solenoid [3], say

$$C_I^{loop} = \frac{8\pi G}{c^4} \mu_0 I^2,$$

$$C_I^{sol} = \frac{8\pi G}{c^4} \mu_0 I^2 n^2 l^2.$$

drawing attention to the fact that it is the square of the total current that sources the gravitational field (I for the loop and InL for the solenoid)[3]. By numerical

resolution of geodesic equations in strongly curved spacetimes around loop and solenoids with extremely large magneto-gravitational coupling, say $C_I = 10$ or $C_I = 1$, Füzfa's work culminates in an experimental procedure showing that the effect of generation of artificial gravitational fields with electric currents, although very weak, could be detected through the induced change in spacetime geometry, resulting in classical deflexion of light rays by magnetic fields.

As one can see, there is a consistent theoretical basis in evolution and, in principle, no exotic physics is required. The biggest challenges shall be technological, given the incredible amounts of energy involved. I believe that in order to invest heavily in mega-projects of this extent, we shall need nothing less than constituting a Type II civilization in the Kardashev scale, something that sounds very distant and unlikely given the uncertain chances of our perpetuation (for a rigorous analysis of this issue, see reference [15]). Judging by the absence of vestiges of extraterrestrial life forms technologically capable of interstellar travel, we have the obligation to at least consider the hypothesis that perhaps nature "wisely" has imposed insurmountable physical rules so that possible civilizations never meet, and never take a chance to destroy each other.



In short, the intent of this article was to show some possible representation for a geodesic deformed by a soliton in the spacetime continuum. Such a soliton would produce a gravitational warp, and would be generated, theoretically, by a powerful electromagnetic field of anthropic origin. In theory, an object with mass could be propelled by this soliton at considerable fractions of light speed. In a broader research program, the next step shall be to deepen the study of that field and its technical features to generate a significant solitonic warp on the geodesics, even as to analyze the potential implications of these ideas on more than forty models of electromagnetism existing today. What is important in the current stage of knowledge is the discussion of theoretical possibilities that may support technological efforts in the future, in my view, still far away.

7 Acknowledgements

I would like to thank Prof. Dr. Aparecido Pimentel, Pro-Rector of Research and Innovation at *Centro Universitário ICESP*.



CALIBRE – Revista Brasileira de Engenharia e Física Aplicada, ISSN 2526-4192.
Livre direito de cópia de acordo com os princípios estabelecidos pela *Creative Commons*.

References

1. Pascal, B. (1656/2006). Do espírito geométrico e outros textos — Pensamentos. São Paulo: Escala, 109p.
2. Goethe, J. (1632-1677). Estudo segundo Spinoza. In: Jacira Cardoso (Org.), "Ensaio científico: uma metodologia para o estudo da natureza", São Paulo: Barany, 116p.
3. Füzfa, A. (2015) "How current loops and solenoids curve space-time" arXiv:1504.00333v3.
4. Alcubierre, M. (1994) "The warp drive: hyper-fast travel within general relativity" Classical and Quantum Gravity 11(5), 73-77.
5. Bobrick, A., Martire, G. (2021) "Introducing physical warp drives" arXiv: 2102.06824v2.
6. Lentz, E. (2021) "Breaking the warp barrier: Hyper-fast solitons in Einstein-Maxwell-plasma theory" arXiv:2006.07125v2.
7. Thorne, K. (2014). The science of interstellar. New York: W.W. Norton & Company, 324p.
8. Krauss, L. (1997). A física de Jornada nas Estrelas. São Paulo: Makron Books, 151p.
9. Bondi, H. (1967/1997). Conjetura e mito na física. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 57p.
10. Serpa, N., Steiner, J. (2016) "General relativity, quantum gravity and all that: Time machines in perspective by singularity functions" Bulg. J. Phys. 43(1) 1-20.
11. Serpa, N. (2019). "On Wick-rotations and quaternions: The game of symmetry between space and time" CALIBRE 4(2) 1-11.
12. Serpa, N., Fernandes, G. (2020) "The way of entropy: From Lagrangian modelling to thermal engineering" CALIBRE 5(Dec) 1-16.
13. Blanchet, L., Le Tiec, A. (2017) "Tails of gravitational waves and mechanics of compact binaries" <https://cqgplus.com/2017/10/09/tails-of-gravitational-waves-and-mechanics-of-compact-binaries/>, accessed 12 Jan 2021.
14. Kaku, M. (2018). O futuro da humanidade. São Paulo: Planeta do Brasil, 367p.
15. Serpa, N. (2019). "Fermi's Paradox and Restraint Orders: Why does no one respond?" CALIBRE 4(suplemento) 1-17.

Arkiduct Propulsion in Large Marine Vessels

David Noel¹

Ben Franklin Centre for Theoretical Research, PO Box 27, Subiaco, WA 6008, Australia.

Received: _20 Oct 2020_ / Accepted: _04 Dec 2020_ / Published: _21 Mar 2021_.

Abstract: Arkiduct devices are based on electrically-driven Archimedes screws, and can be axle-less because they can function like the rotor and stator of an electric motor or generator. They can be used for propulsion and liquid delivery, as well as motors and generators. They are described in reference [1]. This article discusses use of Arkiducts in the propulsion of large marine vessels such as container ships, cruise liners, and tankers, many of which have displacements of over a hundred thousand tons, and can be as much as half a million tons [2].

Key-words: Arkiduct devices, large marine vessels, propulsion.

Resumo: Os dispositivos Arkiduct são baseados em parafusos de Arquimedes movidos a eletricidade, podendo ser sem eixos porque são capazes de funcionar como rotores e estatores de motores elétricos ou geradores. Podem ser usados para propulsão e distribuição de líquidos, bem como motores e geradores. Eles são descritos na referência [1]. Este artigo discute o uso de Arkiducts na propulsão de grandes embarcações marítimas, tais como navios porta-contêineres, navios de cruzeiro e petroleiros, muitos dos quais deslocam mais de cem mil toneladas, chegando a meio milhão de toneladas [2].

Palavras-chave: Dispositivos Arkiduct, grandes embarcações marítimas, propulsão.



by David Noel, 2020.

¹ Corresponding Author's E-Mail Address: davidn@aoi.com.au



1 History of the Archimedes Screw

The invention of the water-raising device known as the Archimedes Screw (Figure 1), and in use for more than 2000 years, is traditionally attributed to the Greek engineer and mathematician Archimedes (ca 287-211 BC). However, recent evidence [3] shows that the screw was in use several hundred years before Archimedes was born, in the "Hanging Gardens of Babylon", one of the traditional Seven Wonders of the ancient world.

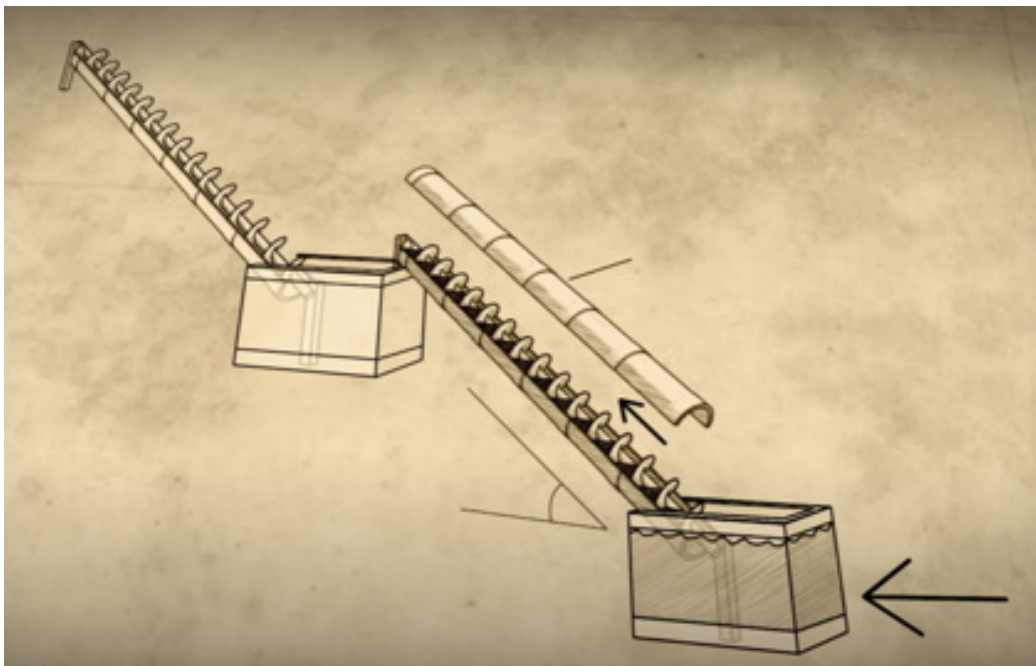


Figure 1 — Archimedes screw used for raising water [3].

The Hanging Gardens are now believed to have been built in the Babylonian capital of Ninevah, close to the modern city of Mosul in Iraq, by the Assyrian king Sennacherib in around 600 BC. According to reference [4], Sennacherib's construction of a new capital at Nineveh was a massive endeavour, and the city and its garden were supplied with a water management project unparalleled at the time. Sennacherib's canal system, which was some 50 miles long and as wide as the Panama Canal in some sections, featured advanced sluice gates, aqueducts, millions of dressed stones, and waterproof cement.

Clay tablets from Nineveh show how the Hanging Gardens were irrigated by archimedes screws pumping water up into the gardens from these aqueducts (Figure 2).



Figure 2 — Clay tablet from Ninevah showing Archimedes Screws raising water from aqueducts [4].

The working part of an Archimedes Screw consists of a helical blade, typically with a central axle, and often enclosed in a tube or trough (Figure 3). When the helical blade is rotated, it pulls in water at one end and expels it in the other.

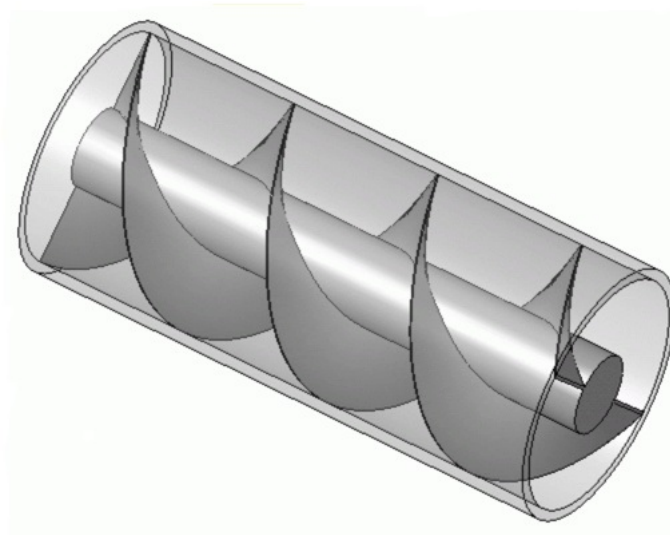


Figure 3 — Construction of an Archimedes Screw [1].

2 Ship propellers and screws

Most modern mechanically-driven ships are driven by propellers or screws which rotate in the water, the screw mechanism pulling in water from the direction in which the ship is travelling and ejecting it to the rear.

Modern propellers have evolved from earlier screw types with multiple threads. In 1794 a triple-threaded screw was patented by William Lyttleton [6] (Figure 4). This propeller was designed for mounting in a frame attached to the ship's hull. It was to have been driven by manually-operated winches through a system of ropes and pulleys. A boat fitted with this device was tried in Greenland Dock, London, but a speed of only two miles an hour was attained.

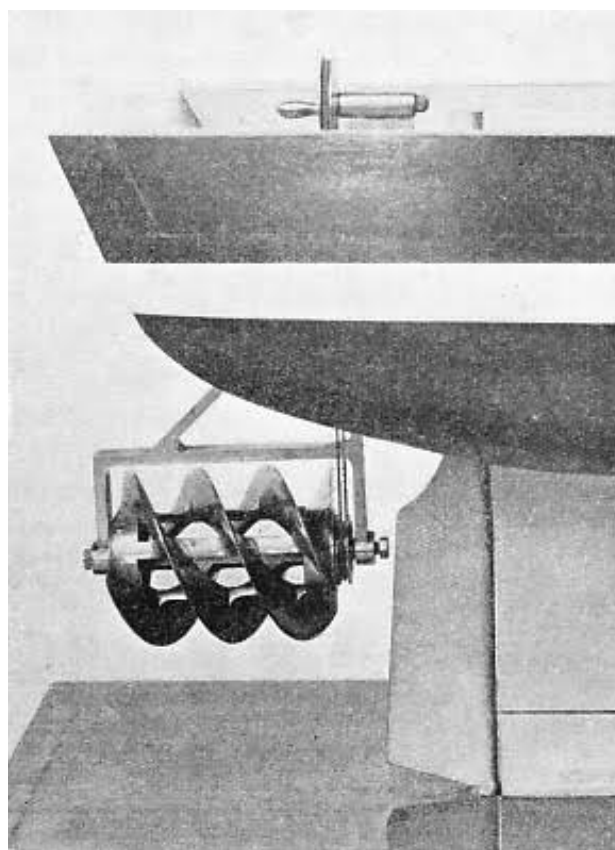


Figure 4 — Triple-threaded ship screw ship patented in 1794 [6].

Later trials showed better results by reducing the number of threads, and eventually the modern design, essentially a set of 3 or more parts of threads, called blades, was arrived at. Such propellers are used in a big range of sizes, from small ones on outboard motors, clamped onto dinghies or inflatables, up to giant ones for driving huge marine vessels.



Figure 5 — Nine-metre diameter ship propeller from Hapag-Lloyd container ship [5].

Figure 5 shows one such propeller, fitted to a Hapag-Lloyd owned container vessel. This vessel contains probably one of the largest ship propellers ever built. The six-bladed propeller is about 9.1 meter in diameter and weighs 101.5 tons. Its height can be compared to height of a three storey building.

3 Limitations and problems of ship propellers

Conventional propellers have a number of limitations to their efficiency and safety. One of the most important of these is a phenomenon known as Cavitation.

Cavitation. There is a good explanation of cavitation in Wikipedia [8], from which the following extracts are drawn:

"Cavitation is a phenomenon in which rapid changes of pressure in a liquid lead to the formation of small vapor-filled cavities in places where the pressure is relatively low. When subjected to higher pressure, these cavities,

called "bubbles" or "voids", collapse and can generate a shock wave that is strong very close to the bubble, but rapidly weakens as it propagates away from the bubble.

Cavitation is a significant cause of wear in some engineering contexts. Collapsing voids that implode near to a metal surface cause cyclic stress through repeated implosion. This results in surface fatigue of the metal causing a type of wear also called "cavitation". The most common examples of this kind of wear are to pump impellers.

Since the shock waves formed by collapse of the voids are strong enough to cause significant damage to parts, cavitation is typically an undesirable phenomenon in machinery. It is very often specifically avoided in the design of machines such as turbines or propellers, and eliminating cavitation is a major field in the study of fluid dynamics."

A practical examination of cavitation problems in ship propellers (Figure 6) is available at reference [7], from which the following summary is extracted.

"There are four effects of cavitation, all of which are detrimental.

Performance suffers because the water can only support a limited suction, dependent upon the conditions. If the blade suction has a potential magnitude in excess of this limit, then the thrust is thus decreased and the efficiency falls.

Erosion of the propeller material will occur if the cavities collapse in the proximity of the blade surface. During collapse considerable pressures can be generated, capable of such intensities that no material can withstand the attack. Other forms of attack, such as corrosion and electrochemical action, are closely related to erosion.

Noise is produced during cavity collapse which can have considerable nuisance value, particularly in vessels with accommodation aft.

Vibration can be induced by cavitation due to the unsteady nature of the phenomenon involving large fluctuating forces. Recent research has indicated that cavitation has considerable influence on propeller induced pressure fluctuations".

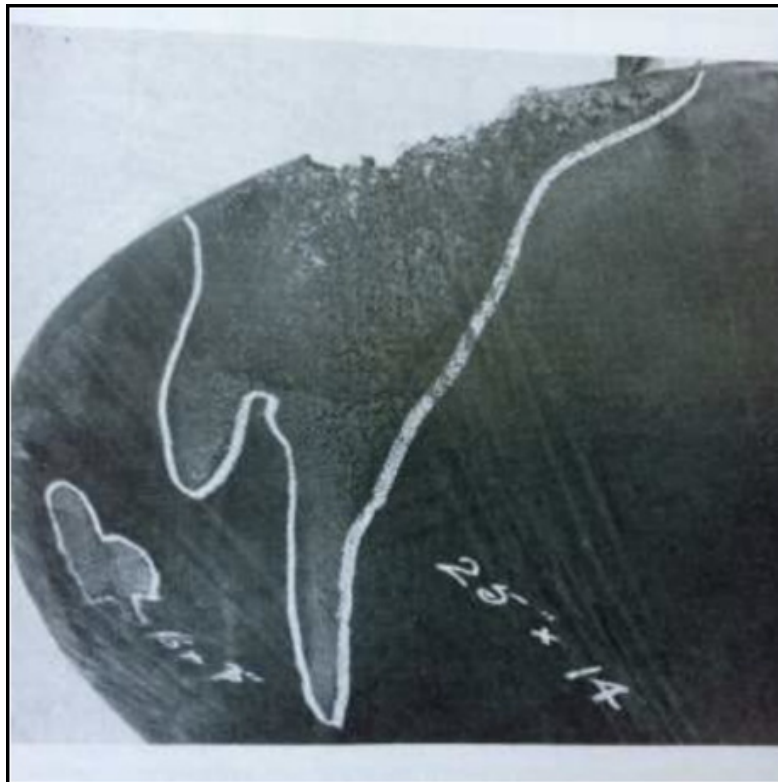


Figure 6 — Cavitation erosion of a ship propeller [7].

Naturally enough, all types of noise and vibration involve loss of energy, making the ship propulsion process less efficient.

Safety. There are, unfortunately, many cases of damage or loss of life, both human and marine animal, due to impact with ship propeller screws. In addition, exposed screws in open water can be easily fouled by floating debris or underwater structures or materials.

Wake damage. The wakes caused by ship propellers transfer a lot of energy to the environment and can cause upset to boats floating in the vicinity. In river or canal surroundings, ship wakes can lead to serious erosion of banks or damage to pier structures.

4 Arkiduct construction

The general form of construction of an Arkiduct is as shown in Figure 7. It consists of two parts. The inner part of the Arkiduct, the Rotor, will normally be a cylinder containing a fixed Archimedes Screw, so that it rotates as part of the Rotor. The central axle of the screw can be shrunk down to nothing, so that the screw is a pure helix, attached to the inner surface of the Rotor.

Arkiduct Construction

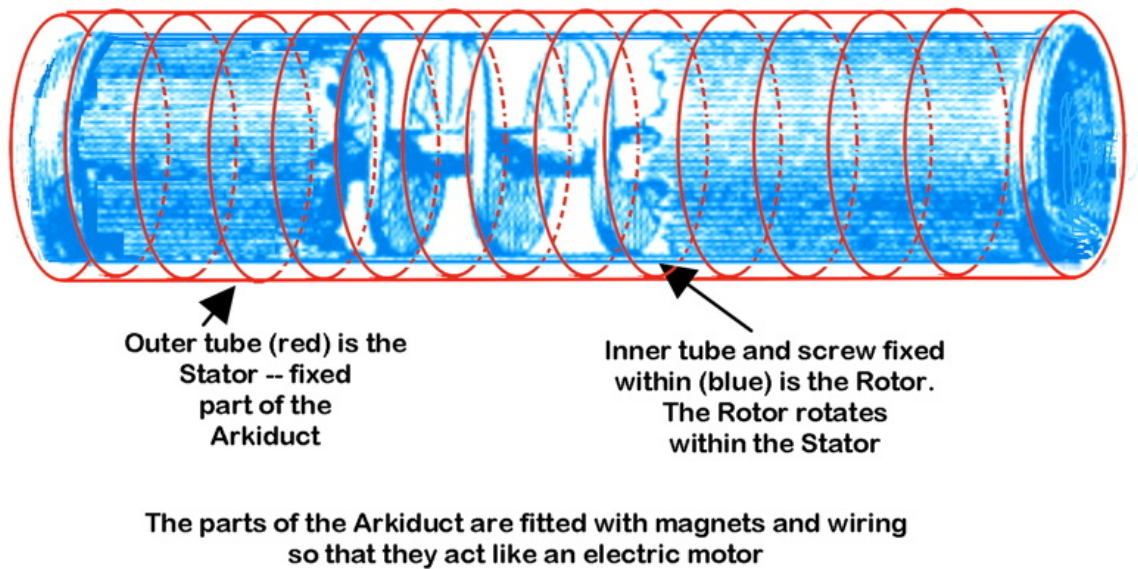


Figure 7 — Construction of Arkiduct.

The outer part of the Arkiduct will normally be another cylinder, fixed in the containing piece of equipment. This equipment might be a pump, a propeller, a motor, or a generator. The Arkiduct is equipped with electrical wiring and magnets, as in a conventional motor or generator -- application of electrical power will cause the Rotor to rotate within the Stator.

This general picture may be modified in particular circumstances, for example, the cylinders involved might be bulged out in their central portions, with the inner screw or helix varying in width or pitch -- liquid travelling within an Arkiduct would then travel more slowly within the central section, as when a river comes to a wider separation of its banks.

5 The marine arkiduct — arkiducts used in ship propulsion

Archimedes Screws have been used in ship propulsion, as in Figure 4. Marine Arkiducts as described here would be specially suited to propulsion of large marine vessels.

Although a single Marine Arkiduct could be used to propel a vessel (Figure 8), the obvious choice would be to have two Arkiducts, one on each side of the vessel. The ship could then be steered by increasing or decreasing the relative rotation rates of the port and starboard Ducts — there would be no need for a rudder. With both Ducts reversed in direction of rotation, the ship would go backwards, and with only one reversed, the ship would tend to rotate in a circle.



Figure 8 — Notional placing of Marine Arkiduct in conventional vessel. Base image from reference [9].

In an existing arrangement, large modern cruise ships, such as the Cunard Line's Queen Mary, can get excellent manoeuvrability by having auxiliary thruster pods (electrically-driven screws), which can be turned in any direction to modify the main propeller action.

6 Advantages of Marine Arkiducts over conventional Ship Screws

Some of the disadvantages of conventional ship propellers have been considered above. The main problems were excessive energy use though side effects such as noise, vibration, and wake creation, and with cavitation causing erosion of parts and further energy loss. Safety is also a concern, with damage caused when screws impact swimming creatures or floating or submerged materials or structures.

Ships driven by Arkiducts should avoid most of these disadvantages. Because impetus is applied electromagnetically over the large surface of the Rotor, rather than being concentrated at an axle, the Duct should create very little noise or disturbance to the waters being passed through. This must result in smooth and easy movement through water, leading to greater efficiency.

In a way, the advantage is similar to that obtained by dolphins and some large fish, in the way that they move through water. These creatures more or less "wiggle" through the water, not creating a disturbance, and they can travel at great speed without spending much energy -- some dolphins can swim at 55.5 km/hr (30 knots) [10], and some fish even faster -- the record is held by the Black Marlin, 129 km/hr [11]. Because the helix in the Duct is moving relatively slowly, and has nothing or very little in the way of exposed edges, corrosion should not be a factor.

Ship Arkiducts should also be rather safe -- fish and objects entering one would just be swirled round and ejected without harm at the far end. To avoid damage to very large creatures, such as whales, open mesh covers could act as "cowcatchers", nudging aside large swimmers or submerged objects -- the "mesh" could be very coarse, with bars maybe a metre apart. With very large ships, the Ducts might also be very large -- 10 metres or more across. The wider the Duct, the slower the Rotor needs to turn for a given desired thrust.

7 Powering Marine Arkiducts

Being electrically-driven, Arkiduct Rotors would need a source of electrical energy. This could be a conventional diesel generator, or a gas-turbine generator, perhaps running on LPG (liquified petroleum gas), as carried in LPG tankers. An ideal source of power would be a Hydrogen Fuel Cell, running on liquid (cooled and compressed) hydrogen, as used in rocket propulsion. With this as source, the whole propulsion mechanism of an Arkiduct-driven ship would contain only a single moving part -- the Rotor. Devices with few or no moving parts are typically least energy-demanding.

There currently exist many essentially unfounded fears in the use of hydrogen. I have shown these fears to be unfounded in "HY401: Hydrogen is Very Very Safe" < <http://www.aoi.com.au/Hydrogen/HY401/> > [13].

8 Advanced conformations of large arkiduct-drive ships

With the development of Marine Arkiduct vessels, it would be possible to adopt other marine architectures, placing the Ducts below a variety of hull shapes. As an example, a catamaran configuration could be used (Figure 9).

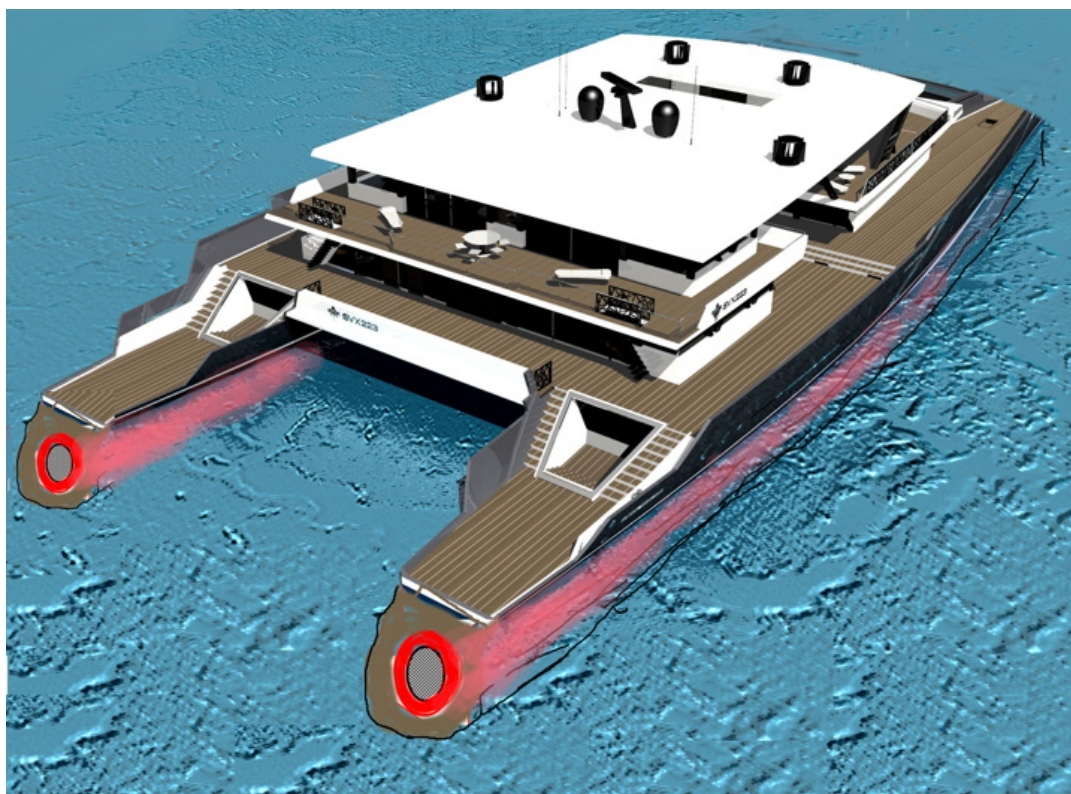


Figure 9 — Notional placing of Marine Arkiducts in catamaran/hydrofoil vessel. Base image from [12].

In this configuration, the Arkiducts would be placed at the bottoms of the twin keels. It might be found to be efficient to use such a configuration even for very large container or tanker ships, essentially ending up as wide platforms with twin Arkiduct propulsion pods beneath them.

With a catamaran configuration, a shelved base to the main structure might be appropriate so that movement forward of the vessel would tend to lift it somewhat in the water.

9 Final remarks

When measured in tonnage, the majority of items figuring in international trade travel by ship. The three main modes are container ships, tankers, and bulk carriers. Probably it is bulk carriers which carry the biggest tonnages. As an example, Australia exports by ship 800 million tonnes of iron ore each year -- over 30 tonnes per inhabitant.

So an improvement in the efficiency of shipping would have an influence of international economics. Fitting large ships with Arkiducts in place of the current screw propellers is likely to lead to significant improvements in efficiency and hence lower costs.

References and links

- [1] Noel, D. DS901: The Arkiduct Device: Towards axle-less propulsion and delivery.
<http://www.aoi.com.au/devices/Arkiduct/index.htm> .
- [2] Stafford, T. How Much Does a Cargo Ship Weigh. <https://boatinggeeks.com/how-much-does-a-cargo-ship-weigh/> .
- [3] Archimedes' Screw and Hanging Gardens of Babylon.
https://www.youtube.com/watch?time_continue=60&v=NhNEB_mWvBw .
- [4] Wiener, N. Hanging Gardens of Babylon ... in Assyrian Nineveh.
<https://www.biblicalarchaeology.org/daily/news/hanging-gardens-of-babylon-in-assyrian-nineveh/> .
- [5] Singla, S. 8 Biggest Ship Propellers in the World. <https://www.marineinsight.com/tech/8-biggest-ship-propellers-in-the-world/> .
- [6] Development of the Screw Propeller. . https://www.shippingwondersoftheworld.com/screw_propeller.html .
- [7] Stone Marine Propulsion. Cavitation of Propellers. .
<http://www.smpropulsion.com/technical/pdfs/Cavitation%20of%20Propellers%20NL.pdf> .
- [8] Cavitation. . <https://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation> .
- [9] Vessel Hull Services. <https://www.rhinocentre.com/product/vessel-hull-services/> .
- [10] Walden, K. The Fastest Swimming Dolphin Species. <https://animals.mom.me/fastest-swimming-dolphin-species-6259.html> .
- [11] Top 10: What are the fastest fish in the world?. <https://www.sciencefocus.com/nature/top-10-what-are-the-fastest-fish-in-the-world/> .
- [12] Catamaran mega-yacht SVX 223' - 68M. <https://www.nauticexpo.com/prod/sea-voyager/product-24923-501728.html> .
- [13] Noel, D. HY401: Hydrogen is Very Very Safe. <http://www.aoi.com.au/Hydrogen/HY401/> .

Avaliação de Uma Rede Neural Artificial Como Modelo Regressor Para Séries Temporais

João Vitor Alves da Cruz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG Campus Bambuí, Brasil.

Bruno Alberto Soares Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

Resumo: Técnicas de predição de demanda são utilizadas em inúmeros ramos da indústria, com o objetivo de agregar valor ao negócio das empresas, especialmente por meio da busca pelo dimensionamento ótimo dos recursos de produção. A predição de demanda em refeitórios, com o intuito de balancear a quantidade de alimento produzido, buscando um melhor aproveitamento dos ingredientes, é um desafio, pois fatores como a quantidade de usuários, o tempo de atendimento e o tipo de alimento utilizado podem ser bastante variáveis neste tipo de problema. O estudo das filas, neste contexto, é de primordial importância, dado que, conhecendo suas características, podem-se estimar, por meio de previsão, informações que podem melhorar a qualidade de atendimento. O presente trabalho teve por finalidade utilizar modelos baseados em Redes Neurais Artificiais (RNA) para realizar regressões em uma série temporal personalizada, gerada por meio de metodologia própria, mediante os dados coletados in loco no restaurante do IFMG - Campus Bambuí. Teve-se por principal objetivo desenvolver um modelo computacional que fosse capaz de descrever o comportamento para os intervalos de tempo no atendimento dos usuários. Por meio deste recurso, pôde-se gerar informações importantes para a tomada de decisão, como os horários de maior e menor pico de atendimento.

Palavras-chave: Redes neurais artificiais, regressão, séries temporais.

Abstract: Demand prediction techniques are used in numerous industry sectors with the aim of adding value to the business of the companies, especially through the search for optimal sizing of production resources. The prediction of demand in restaurants with the intention of balancing the quantity food produced looking for better use of ingredients is a challenge, since factors like the quantity of users, the time of service and the kind of food can be quite variable in this type of problem. The study of queue, in this context, is of paramount importance, given that, knowing its characteristics, it is possible to estimate, by means of prediction, information that can improve service quality. Present work had the purpose of using models based on Artificial Neural Networks (ANN) to perform regressions in a personalized time series, generated through its own methodology with data collected in the restaurant of the IFMG - Campus Bambuí. The main objective was to develop a computational model that would be able to describe the behavior for the time intervals in the restaurant customer service. Through this resource, it was possible to generate important information for decision making, such as the peak times of higher and lower demands.

Keywords: Artificial neural networks, regression, time series.

Corresponding author: Bruno Alberto Soares Oliveira, brunoalbertobambui@ufmg.br

Received: 12 Dec 2020 / Accepted: 04 Jan 2021 / Published: 21 Mar 2021.

1 Introdução

A aplicação de métodos inteligentes, no que se refere a algoritmos e técnicas computacionais, permite flexibilizar a resolução de problemas, alcançando resultados de

maneira rápida e viável. Nesse sentido, eles podem ser utilizados no ramo da predição de demanda, com o intuito de agregar valor aos negócios de empresas diversas.

O emprego destas técnicas em refeitórios, por exemplo, pode ser bastante interessante em relação ao estudo de filas, dado que, conhecendo suas características, pode-se estimar, por meio de uma previsão, informações úteis

aos usuários que anseiam pelo atendimento. Desse modo, o uso de métodos baseados em Redes Neurais Artificiais, visando gerar um modelo de regressão com séries de tempos, pode ser uma opção viável para esse tipo de problema.

As Redes Neurais Artificiais (RNA) funcionam, teoricamente, de maneira semelhante ao cérebro humano, visando reconhecer características e padrões de dados. Assim sendo, objetivam ser capazes de aprender, por meio de um treinamento, e fazer generalizações baseadas no conhecimento previamente acumulado. Uma área em que as RNA são aplicadas é na previsão para séries de tempo [21].

O processo de previsão de dados futuros é considerado uma importante ferramenta para o planejamento de qualquer organização. Dentro da análise de séries temporais, existem diversos modelos, com as mais variadas suposições quanto ao comportamento de uma série de dados [14].

A principal técnica utilizada neste trabalho foi a de RNA, a qual se ajusta por meio dos dados de entrada, fornecidos por um registro de filas, para se gerar uma regressão. O emprego de RNA é justificável por sua capacidade de reconhecimento de padrões e ajuste funcional, permitindo alcançar bons resultados, de forma geral.

O refeitório do IFMG-Campus Bambuí atende alunos, servidores e visitantes. Este fator faz com que seja necessário um estudo relacionado à demanda de pessoas no local. Um problema muito comum enfrentado pelos seus usuários é o congestionamento da fila, podendo gerar uma grande demora no atendimento devido ao elevado número de pessoas que anseiam pelo serviço, principalmente em horários de pico. Oliveira et al. [12] também desenvolveu um trabalho no IFMG-Campus Bambuí em que foi possível verificar a possibilidade da inserção de meios tecnológicos para auxiliar na tomada de decisão dos processos que ocorrem no local abordado dessa pesquisa.

Assim, justifica-se o uso de uma RNA com os dados do refeitório, uma vez que ela permite fazer uma estimativa de comportamento do local em seu funcionamento, podendo servir de auxílio, com as informações extraídas, para a tomada de decisão dos usuários em um horário de almoço.

O trabalho de Rodriguez e Corrêa [16] se propôs a encontrar o método mais eficiente para a previsão da demanda de peças em sistemas de refrigeração latino-americanos. Foram usadas técnicas diversas, a fim de selecionar aquela que obtivesse o melhor resultado. A técnica de RNA foi a que se destacou para a previsão das demandas de peças.

Sigauke [17] fez uma aplicação de Modelos Aditivos Generalizados (MAG) em uma previsão de demanda de eletricidade usando dados sul-africanos, nos anos de 2009 a 2013. Foi realizado um estudo em que se aplicaram técnicas de tratamento, antecipadamente acerca dos dados, e, logo após, fez-se o uso combinado de técnicas inteligentes. Os resultados finais demonstraram uma melhor eficiência na previsão esperada.

No trabalho de Oliveira et al. [13] foi avaliada a aplicação de uma Rede Neural Artificial Perceptron Multi-Camadas utilizando como objeto de aplicação os dados de pluviometria acumulada mensal oriundos do Sistema Cantareira. O treinamento da MLP foi realizado tomando-se por base as medições pluviométricas de outros cinco grandes sistemas brasileiros. Os resultados obtidos mostraram que foi possível cumprir o objetivo proposto e validar a MLP como alternativa válida à substituição, em casos oportunos, aos métodos de medição convencionais

Tello-Maita e Marulanda-Guerra [19] descreveram um estudo que teve por objetivo utilizar modelos que permitiram a otimização em sistemas de potência. Nesse sentido, foram considerados aspectos como energias renováveis e sua variabilidade, geração distribuída e microrredes, gerenciamento de demanda e sistemas do armazenamento de energia. Fez-se, assim, a abordagem na utilização de técnicas modernas no que diz respeito à RNA, a fim de obter resultados promissores, aplicados na gestão de demanda. Foi verificado um impacto nos custos gerados, dentro dos setores produtivos.

Valencia-Cárdenas et al. [20] apresentaram uma comparação para modelos de previsão da demanda em múltiplos produtos, dentre os seguintes métodos; Média Móvel Autorregressiva Integrada (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA), Suavização Exponencial (SE), um Modelo Bayesiano de Regressão (Bayesian Regression Models, BRM) e um Modelo Linear Dinâmico Bayesiano (Bayesian Dynamic Linear Models, BDLM). O trabalho baseou-se em testar tais métodos para o setor de estoques em diferentes empresas. Assim sendo, foram extraídas informações que permitiram a minimização dos custos e a maximização de lucros.

O trabalho realizado por Staudt et al. [7] tratou da inserção dos modelos de previsão dentro dos setores empresariais e como isso pode impactar diretamente na melhoria da qualidade de seus serviços. Foi relatado como é necessária a implantação de um processo estruturado para realizar a previsão, evitando os possíveis vieses e limitações do julgamento humano, que comprometem o desempenho e a credibilidade das previsões.

Srisaeng et al. [18] propuseram e testaram empiricamente, pela primeira vez, modelos da otimização de algoritmos genéticos para modelar a demanda de passageiros em companhias aéreas domésticas da Austrália. Os dados foram divididos em conjuntos de treinamento e teste, em que 74 deles, foram utilizados para estimar os fatores de ponderação dos modelos de algoritmos genéticos, e outros 13, fora da amostra, foram utilizados para testar a sua robustez. A técnica se mostrou útil, com baixos percentuais de erros.

Guarnieri [6] desenvolveu e avaliou uma metodologia de previsão na irradiação solar incidente, constituindo uma pesquisa de meteorologia aplicada, estabelecida no refinamento da previsão numérica de tempo produzida pela metodologia do Eta/CPTEC. As variáveis de saída do modelo foram empregadas como preditores em modelos de RNA e RLM, ajustados para calcular a radiação

solar incidente para duas localidades em que se situam estações do projeto SONDA. Parâmetros de avaliação de erros, determinados frente aos dados observacionais de cada estação de medida, foram calculados para cada previsão, a cada teste, permitindo a comparação de RNA e RLM. Obteve-se, como resultado, um ganho nas previsões da radiação solar de curto prazo, ao passo que, foi verificado não ocorrer ganho significativo em desempenho com técnicas convencionais.

Mahmoodi e Naderi [8], em seu trabalho, fizeram uso de RNA e Regressão Não Linear (RNL) para obter uma estrutura de grão ultrafino com as propriedades ECAR (Equal Channel Angular Rolled). Uma RNA foi usada para prever as propriedades mecânicas das folhas Al5083 (tipo de liga de alumínio). Os parâmetros de entrada e as propriedades mecânicas foram extraídos separadamente, usando o método de regressão linear. Os desempenhos da RNA e do modelo de RNL mostraram que ambos estimaram, com precisão, as propriedades mecânicas das amostras de Al5083, com ECAR. No entanto, o modelo de RNA determinou os parâmetros de saída com alta precisão.

Baptistella et al. [1] compararam as técnicas de RNA e RLM na estimação dos valores de venda de imóveis urbanos da cidade de Guarapuava/PR. O modelo inicial foi composto por treze variáveis do referido cadastro, sendo elas: bairro, setor, pavimentação, esgoto, iluminação pública, área do terreno, pedologia, topografia, situação, área edificada, tipo, estrutura e conservação. As RNA foram desenvolvidas utilizando o algoritmo de treinamento “Levenberg Marquardt” com uma camada oculta. Na comparação das duas técnicas, embora tenham apresentado resultados semelhantes, as Redes Neurais Artificiais apresentaram desempenho superior.

Assim como nos trabalhos citados que utilizaram RNA para séries temporais, essa pesquisa teve como proposta a aplicação de uma RNA para extrair informações em dados coletados durante o funcionamento do restaurante, a fim de informar horários de pico, e, assim, usar tais informações para a melhora na eficiência de atendimento.

Foi desenvolvido um método para a coleta dos dados, e, após isso, gerou-se um dataset para avaliar o melhor método de análise e tratamento destes. Tal estudo, baseado nesse conjunto de dados, foi realizado durante o período do almoço no campus, devido à maior demanda. Com este trabalho, esperou-se gerar uma regressão, com uma série de intervalos de tempos extraídos dos dados coletados, para que, com o uso de uma RNA, fosse possível extrair informações, e, assim, fazer um levantamento de estatísticas úteis aos usuários.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Análise e planejamento de experimentos

Para a realização de qualquer experimento, há a necessidade de se organizar antecipadamente. Assim sendo,

um esboço claro dos passos que devem ser realizados é necessário, para que os objetivos sejam atingidos [11].

Nesse sentido, de acordo com Neto et al. [11], na percepção do senso comum, o trabalho com métodos estatísticos baseia-se em uma mineração bem-sucedida, que explora e processa milhares de informações, a fim de extrair conclusões de grande valor. Mas esta é uma impressão falsa, uma vez que a atividade estatística de maior importância é o planejamento de experimentos, em como os dados serão apanhados. Com uma má realização dessa etapa, o resultado se torna uma pilha gigantesca de números sem sentido. Por esse motivo, um bom planejamento consiste em projetar um experimento de maneira que seja fornecido o tipo de informação procurada, para, assim, realizar uma análise. Dependendo do que se almeja, algumas técnicas são vantajosas, ao passo que outras são totalmente dispensáveis.

2.2 Sistemas e algoritmos inteligentes

Para Wilamowski e Irwin [22], entende-se por algoritmos inteligentes aqueles capazes de realizar a autoaprendizagem e resolverem, por si próprios, algum problema que um algoritmo determinístico, no seu escopo de ação, não possuiria tanta efetividade. Dentre eles, se aplicam as Redes Neurais Artificiais, os algoritmos genéticos e outros métodos de computação natural.

Dentro dos sistemas de aprendizado, podem ser abordadas duas maneiras de classificação em categorias: a primeira se dá por um tipo de caixa-preta, que manifesta sua própria representação do conceito, isto é, seu aspecto interno não pode ser facilmente interpretado por humanos, não sendo esclarecido e não havendo uma explicação do processo de reconhecimento. Já o segundo são os sistemas orientados a conhecimento, que objetivam a criação de estruturas típicas que sejam compreensíveis por humanos [22].

Neste trabalho, pretendeu-se aplicar este tipo de conhecimento, dado que, no problema de interesse, oportuniza-se o uso de modelagens que visam otimizar, de forma autônoma, a demanda do tempo de fila, com base em um dataset. Em outras palavras, procurou-se aplicar algum algoritmo inteligente, para buscar a solução do problema.

2.3 Análise de demanda e previsão

Segundo Gaither e Frazier [5], predizer, ou medir, a demanda futura de produtos, serviços e os recursos necessários para produzi-los é o primeiro passo da etapa do planejamento. Nesse sentido, a predição se torna uma ferramenta poderosa para qualquer situação que exija, quantitativamente, materiais específicos.

Com o estudo de demanda, pode-se criar um modelo de previsão aplicado, seja ele um método estatístico ou computacional. Para Moreira [10], os métodos de previsão podem ser classificados de acordo com critérios variados. No entanto, a classificação mais comum é a que leva em consideração o tipo de abordagem utilizada, ou

seja, os tipos de instrumentos e conceitos que formam a base da previsão. Por este critério, os métodos podem ser qualitativos e quantitativos.

Dado este contexto, a análise de demanda se faz importante neste trabalho, pois ela se apresentou como pilar para averiguar o que poderia ser melhorado, sendo utilizada para a construção do modelo de previsão.

2.4 Redes Neurais Artificiais

O estudo das Redes Neurais Artificiais (RNA) foi inspirado no sistema biológico humano, simulando o sistema nervoso central, ou seja, capazes de realizar o aprendizado de máquina (Machine Learning) e o reconhecimento de padrões. É um modelo simplificado e simulado do neurônio real. Sua representação pode ser vista na Figura 1, sendo essa também denominada de Perceptron, em que diversas entradas atuam como mapeamento de um problema, e, nesse sentido, elas são processadas, de maneira que os pesos e o limiar de ativação (funções como degrau, linear ou sigmoide) permitam que determinadas entradas sejam efetivas na abstração da RNA, gerando uma saída como resultado. São uma forma de computação caracterizada por sistemas que, em algum nível, lembram a estrutura de raciocínio do cérebro humano [4].

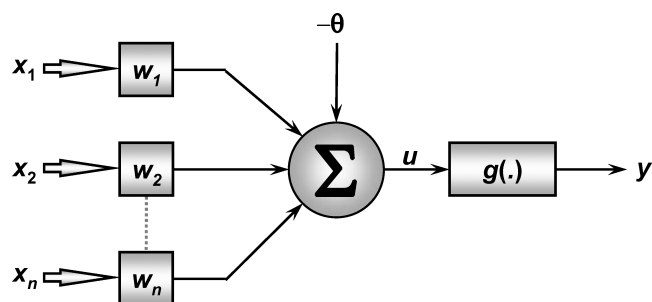


Figura 1: Esquema de uma RNA simples (Perceptron)

Fonte: Silva et al. [3]

As características básicas das RNA são a adaptação e a representação de conhecimentos baseados em conexões, as quais são dadas por entradas que estão integradas, com pesos que simulam os estímulos sinápticos, realizados por um cérebro. Quando essas estradas ultrapassam o potencial de ativação, esta é indicada como válida ou não. Para Manuel e Pretorius [9], uma Rede Neural Artificial pode ser considerada um processador paralelo e distribuído, composto por várias camadas de neurônios. A primeira camada é referida como a camada de entrada, e a última, como camada de saída. Entre as camadas de entrada e saída, várias outras podem existir.

Para Silva et al. [3], quando uma RNA possui pelo menos uma camada intermediária, esta é denominada como Perceptron de múltiplas camadas (PMC), a qual possui, no mínimo, duas camadas, divididas entre intermediárias e de saída, sua representação pode ser vista na Figura 2. É considerada como uma das arquiteturas

mais versáteis, tendo ampla aplicabilidade, como, por exemplo, na aproximação universal de funções. Seu treinamento é dado de maneira supervisionada, ou seja, são conhecidas as saídas durante o processo de treinamento, feito por meio do algoritmo denominado backpropagation.

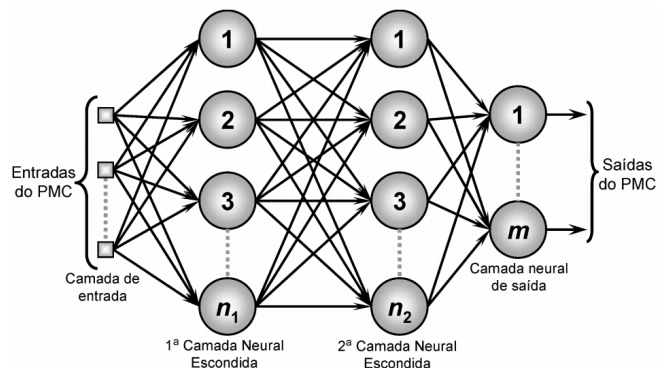


Figura 2: Esquema de uma Perceptron de múltiplas camadas

Fonte: Silva et al. [3]

Esta será uma das principais técnicas abordadas no trabalho, visando à aplicação dos dados coletados durante o período experimental.

2.5 Análise e tratamento de dados

De acordo com Reimann et al. [15], a análise de dados estatísticos trata do estudo de dados graficamente ou por meio de métodos mais formais. As técnicas de Análise Exploratória de Dados (Exploratory Data Analysis, EDA) fornecem muitas ferramentas que transferem grandes e complicadas tabulações de dados, para exibições gráficas fáceis de entender, que são independentes das suposições sobre os dados, e que são usados para "visualizar" os dados.

Nesse sentido, os itens de amostras que se apresentam com um grande afastamento dos restantes ou como sendo inconsistentes são habitualmente designados por outliers. Para Barnett e Lewis [2], tal termo é caracterizado por sua relação com as observações restantes, que fazem parte da amostra. O seu distanciamento em relação a esses dados é fundamental para fazer a sua caracterização. Estes elementos são, também, designados como "anormais" ou contaminantes.

3 Metodologia

A pesquisa realizada foi caracterizada como aplicada, quantitativa e em campo, uma vez que os seus conhecimentos podem ser aplicados na vida real, fazendo-se uso de ferramentas e técnicas estatísticas com os dados coletados, ao passo que, para eles existirem, houve a necessidade de o pesquisador observar um ambiente para a realização das atividades propostas.

3.1 Delineamento do experimento

O primeiro passo para a construção do dataset utilizado no trabalho foi realizar um estudo sobre coletas de dados, verificando quais etapas básicas deveriam ser realizadas. Para isso, foram analisadas as possibilidades de estruturação para coleta, bem como uma investigação de problemas que pudessem inviabilizar o experimento.

Antes de iniciar o trabalho experimental, houve reuniões com a nutricionista do campus, pois ela é a responsável pelo gerenciamento do refeitório. Foram levadas as propostas para o desenvolvimento do trabalho, e, nesse sentido, discutiram-se todas as questões de permissões e limitações do que poderia ser realizado.

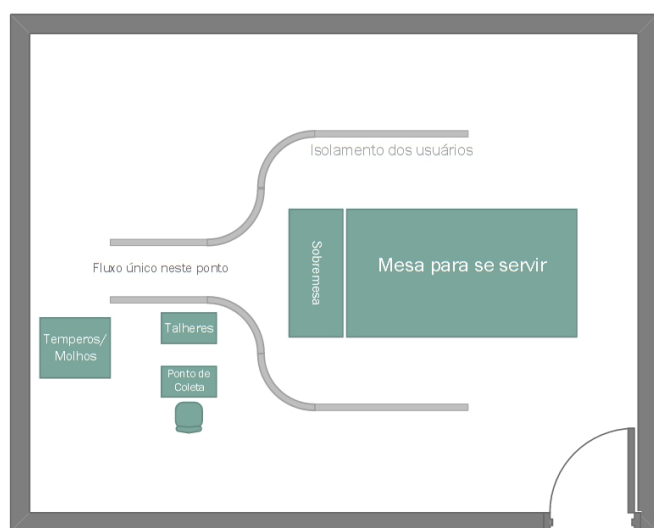


Figura 3: Esquema construído para disposição do refeitório

Fonte: acervo do autor

Esse levantamento de regras foi necessário, pois houve algumas adequações aplicadas ao funcionamento do refeitório. Com isso, foi criado um esquema, representado pela Figura 3, de como o ambiente ficou disposto durante a realização das coletas, demonstrando o posicionamento de cada componente.

3.1.1 Materiais

Durante a realização da coleta, foi utilizado um computador pessoal com Windows 8.1 e planilha eletrônica. As configurações do computador eram de um processador Core i7, com 8GB de RAM. O uso da planilha foi importante no processo, para registrar os horários e, por conseguinte, os intervalos de atendimento dos usuários.

Para isso, foi implementada uma macro, a qual capturava a data e o horário, no formato hh:mm:ss, e, implicitamente, também contando o número de pessoas na fila para o dia em questão. A ação da macro ocorria por meio do clique em um botão virtual inserido no software da planilha.

Também nesta etapa, foi construída uma tabela, cujo objetivo era registrar os dados dos alimentos de cada

dia. Tal tabela, representada na Figura 4, foi repassada para os responsáveis por coordenar as atividades dentro da cozinha, uma vez que ela só poderia ser acessada por pessoas autorizadas, devido a regras de salubridade do local.

Figura 4: Representação da tabela de dados sobre os alimentos

Coleta de Dados Refeitório IFMG

Data: _____

Alimento									
Quantidade Crua									
Quantidade Cozida									
Quantidade Sobre Crua									
Quantidade Sobre Cozida									
Status: Final									

Obs: A quantidade deve ser de acordo com a unidade de medida usada pelo refeitório, kg, litros, unidade etc..

Algum alimento faltou? _____

Alimento	Horário de Falta

Observações:

Fonte: acervo do autor

Com isso, foi necessário rearranjar tais tabelas em arquivos .csv, para que fossem inseridos dentro dos requisitos do software RStudio, utilizando a linguagem R.

3.1.2 Condução do experimento

Na realização do experimento das coletas, foram analisadas várias possibilidades dentro das limitações do refeitório. Houve algumas alternativas para se realizar as coletas, entre elas, o uso de sensores e botões, de maneira que, quando o aluno terminasse de se servir, ele iria se autorregistrar.

Nesse ponto, ficou evidente que a melhor escolha foi desenvolver uma maneira de captura pelo próprio autor do dataset, já que, dessa forma, o padrão de coleta se daria de maneira regular, evitando muitas variações e minimizando a quantidade de erros na geração final dos dados.

A estratégia se deu em posicionar o computador de frente aos talheres, uma vez que estes são de uso essencial para a alimentação, bem como representam, de maneira ideal, o ponto em que o usuário termina de se servir. A fila também sofreu algumas alterações, com o uso de pedestais para orientar as pessoas no caminho que deviam seguir, bem como para limitar a passagem de uma pessoa por vez no momento em que os talheres fossem apanhados. O esquema real, em seu funcionamento, está representado na Figura 5.

3.2 Características da Fila

O processo básico de filas, em geral, acontece quando clientes anseiam por um atendimento. Essa fase é denominada como fonte de entrada. Logo após, esses usuários passam por um processo de sistema de filas, em que, de tempos em tempos, um determinado integrante é selecionado por alguma regra, conhecida como disciplina da



Figura 5: Imagem registrada em um dos dias do experimento

Fonte: acervo do autor

fila, e, assim, o atendimento é realizado de acordo com seus mecanismos, e o cliente é liberado.

Desse modo, a fila na qual foram extraídos os dados classifica-se como uma fonte de entrada de tamanho limitado, pois há um limite no tempo de atendimento para os serviços do refeitório, que é por volta de uma hora e meia. Assim sendo, a própria fila também se denominou como finita, em que o número máximo de usuários atendidos em todos os dias coletados não ultrapassou 900 pessoas.

Conduzindo ainda a fila observada, a sua disciplina foi determinada como FIFO (First In First Out), ou seja, o primeiro que chega é o primeiro a ser atendido. E assim, numa etapa inicial, foi dada por um fluxo único em sua formação, em que foi trocado por um fluxo duplo durante o processo de se servir e, imediatamente após, a fila passou a ser de fluxo único novamente, com o objetivo de se pegar os talheres. O ponto de coleta se deu nesse último fluxo. Assim, a fila observada para a coleta pode ser classificada, de maneira geral, como fluxo único.

Diante disso, realizados os procedimentos de delimitação e de como a fila se dava, partiu-se para o processo de construção do dataset.

3.3 Geração do dataset

Após realizada a coleta, partiu-se para a verificação da disposição dos dados e a elaboração de um planejamento. Com isso, foram analisadas possíveis maneiras de organizá-los, para, assim, potencializar os resultados quando fossem inseridos no contexto do problema.

Nessa etapa, procurou-se elucidar como ficariam dispostas as estruturas dos datasets. Foi decidido que haveria pelo menos dois tipos de base de dados: uma destinada à frequência e aos registros da fila, e outra para os alimentos com os dados referentes a quantidades produzidas, sobras, falta de alimentos e horários em que acabaram. A princípio, havia a intenção de se usar dados dos alimentos na predição, mas não foram utilizados, pois decidiu-se, durante o estudo, abranger apenas o escopo da fila, pelo fato da inviabilidade de uma análise precisa desses dados durante o desenvolvimento da pesquisa.

O formato do dataset consistiu em uma tabela contendo data e hora para cada registro que acontecia nos

momentos de coleta, e, assim, foram feitas as conversões para o tipo .csv, sendo inseridos no contexto do software usado. Tal etapa se fixou no tratamento de dados de maneira a remover possíveis interferências que gerassem ruídos no conjunto de dados.

3.3.1 Tratamento e disposição dos dados

Nesta fase, fazendo-se uso das ferramentas gráficas do RStudio, os dados foram aplicados em alguns tipos de gráficos, a fim de verificar, visualmente, o seu comportamento. Além disso, foi utilizado um método de ajuste de outliers, visando à lapidação dos elementos do dataset. A função que realizou esse procedimento, basicamente, divide a distribuição da amostra em quatro quartis, e os elementos que se encontram fora do segundo e terceiro quartis são removidos e adequados de acordo com os valores mais próximos, por exemplo, pegando os vizinhos da direita e esquerda e calculando a metade de sua soma. Assim sendo, para o dia 04/05/2019, na Figura 6, verificam-se os gráficos de frequência, demonstrando a disposição dos intervalos para todos os usuários ao longo do tempo, antes e após o tratamento.

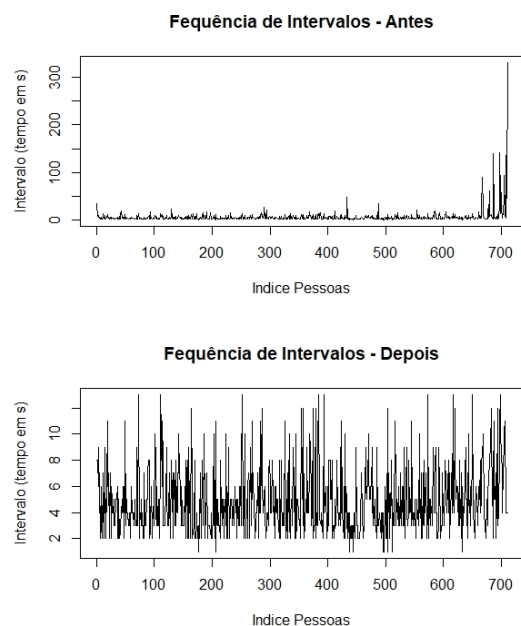


Figura 6: Gráficos de frequência do dia 04/05/2019, antes e após o tratamento

Fonte: acervo do autor

Observado o gráfico de frequência, tornou-se necessária a aplicação desses dados em um histograma, como demonstrado na Figura 7, permitindo observar quais intervalos mais se repetiram ao longo daquele período.

Na sequência, foi utilizado um gráfico de dispersão com o intuito de verificar outliers. Como demonstrado na Figura 8, foi aplicado um gráfico boxplot em que cada um dos pontos fora da faixa-padrão representa elementos dispersos.

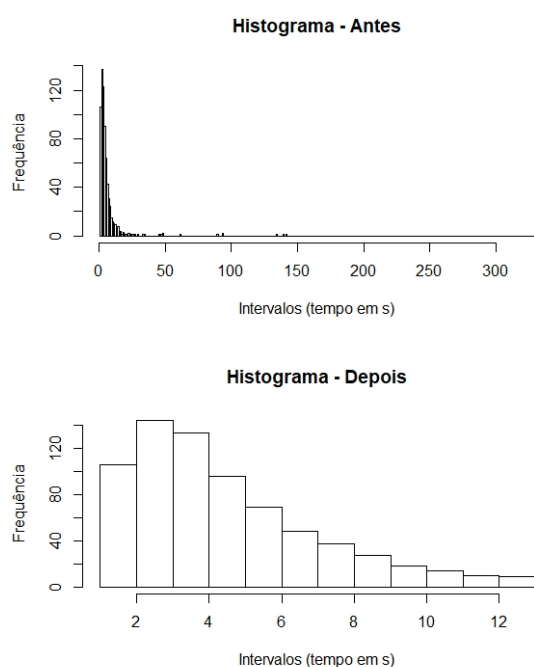


Figura 7: Gráficos de histograma do dia 04/05/2019, antes e após o tratamento

Fonte: acervo do autor

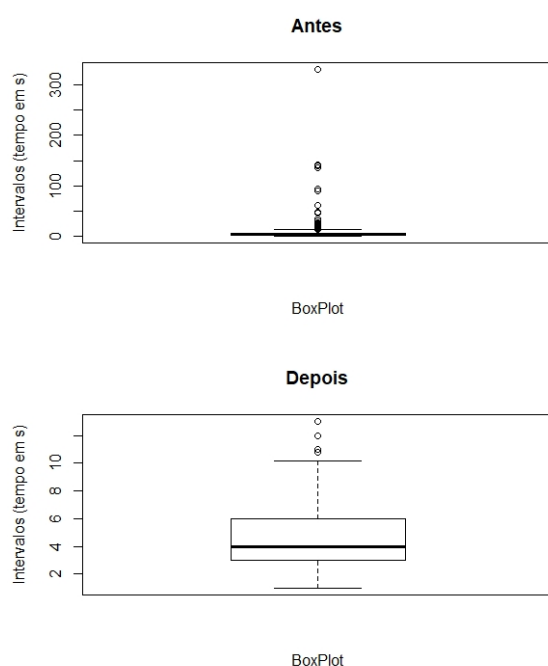


Figura 8: Gráficos de boxplot do dia 04/05/2019, antes e após o tratamento

Fonte: acervo do autor

Com isso, para aprimorar essa verificação, foi usado um gráfico de aderência a uma distribuição normal, como

mostra a Figura 9. Dessa forma, procurou-se identificar quais valores se encontravam fora do alinhamento.

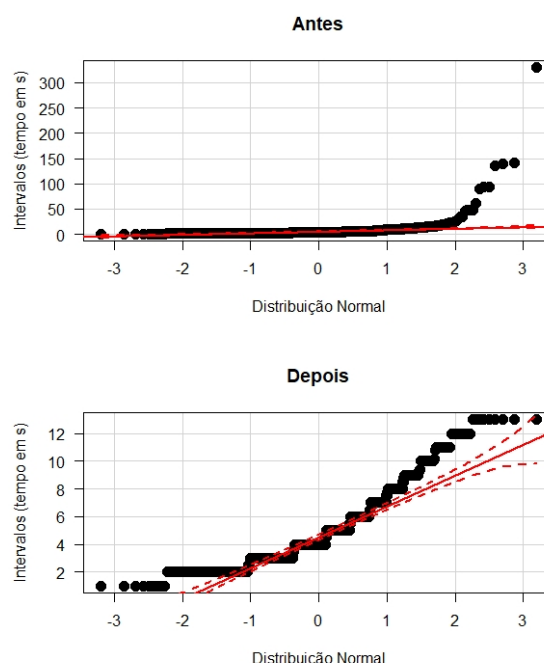


Figura 9: Gráficos da distribuição normal do dia 04/05/2019, antes e após o tratamento

Fonte: acervo do autor

3.4 Construção do algoritmo de previsão

Este ponto teve como principal objetivo distinguir e mostrar técnicas computacionais que foram abordadas, demonstrando suas implementações para se encaixar dentro das estratégias de montagem do dataset, bem como para o problema tratado.

Foi abordado o comportamento das filas, verificando sua variabilidade ao longo dos dias e como sua frequência se altera em relação aos minutos em que o refeitório funciona. Isso foi feito por meio das análises dos dados tratados, a fim de verificar as potencialidades que pudessem ser implementadas.

3.4.1 Regressão usando Redes Neurais Artificiais

Buscou-se, com uma regressão, averiguar qual seria o intervalo médio de tempo para cada fatia de horário de 30 segundos, dentro do atendimento. Assim sendo, a ideia principal consistiu em:

- Fazer as diferenças de tempo entre os usuários da fila, para os 20 dias de coleta, gerando, assim, 20 séries de intervalos de tempo;
- Criar uma régua de agrupamento a cada espaço de 30s, uma vez que, o número de pessoas por dia varia. Dessa maneira, entre a abertura (10:30:00) e

o fechamento (12:00:00) do refeitório, calcularam-se a média, a mediana, a quantidade de pessoas, o desvio-padrão e o coeficiente de variação dos intervalos em cada faixa de 30s, para o respectivo dia. Criaram-se, assim, 20 novas séries, com 180 intervalos, em que cada posição possuía todos os cálculos na sua fatia respectiva. Na Figura 10, há a representação desse processo para as médias;

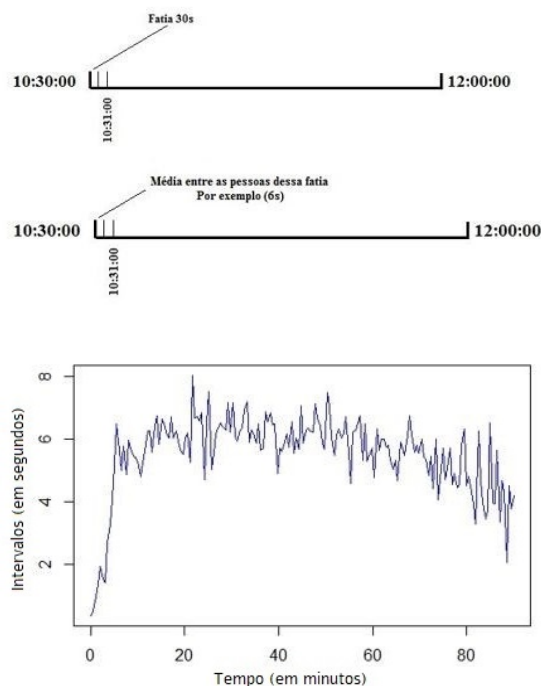


Figura 10: Cálculo da média para os intervalos/ Representação gráfica da série gerada

Fonte: acervo do autor

- Tornar aleatórias as 20 séries calculadas, a fim de remover padrões durante os dias do refeitório. Assim sendo, separaram-se 15 para o treinamento, e as outras cinco para testes, ao passo que, para as 15, foi gerada uma série final com a média de cada cálculo respectivo entre estas, realizando-se o treinamento da RNA, obtendo-se uma regressão a ser testada. Os valores da quantidade de usuários, mediana, desvio-padrão e coeficiente de variação foram usados como parâmetros na entrada da rede, visando refletir em uma saída com a média dos intervalos de tempos;
- Padronizar os valores antes de serem inseridos na RNA, na faixa entre 0 e 1, utilizando-se a Equação 1. Esse procedimento é realizado, pois reduz a possibilidade de as entradas da RNA, após elas serem ponderadas pelos pesos respectivos, caírem

em uma faixa denominada saturação, reduzindo, assim, o desempenho da rede.

$$\frac{Si - Smin}{Smax - Smin} \quad (1)$$

Em que Si refere-se ao elemento a ser convertido; $Smin$, o menor valor que se encontra no intervalo; e $Smax$, o maior valor encontrado no intervalo em questão.

- Com a regressão obtida, foi colocada em teste a rede treinada, objetivando-se calcular as diferenças em relação aos resultados (valores preditos) e os valores esperados (intervalos médios de tempos), para cada ponto da regressão gerado. Isso foi feito em cada uma das cinco séries restantes. E, por fim, realizou-se a plotagem de gráficos comparativos, bem como os cálculos das métricas de avaliação.

Dessa forma, esperou-se que, ao final, com a função gerada (abstração da RNA treinada), cada entrada de uma fatia de horário, que representa um usuário se inserindo no contexto de atendimento, gerasse uma saída. E assim, todo o contexto de comportamento da fila fosse previsto, podendo esse resultado indicar picos de atendimento e horários de menor demanda.

A RNA foi treinada com um número de neurônios igual a 10 e um número de épocas igual a 10.000. Entre os outros parâmetros, estão a faixa de inicialização aleatória dos pesos, sendo esta $[-0,3;0,3]$, e uma taxa de aprendizagem de 0,35. O valor do bias configurado na rede foi de -1, com as funções de ativação sendo tangente hiperbólica, para a camada escondida, e função linear na camada de saída. Tais valores foram calibrados manualmente, variando um dos parâmetros, enquanto todos os outros permaneciam fixados, ao passo que eram observados os erros de época a época para cada teste.

Nesse sentido, ao notar que a convergência da rede melhorava, continuava-se o processo até uma estagnação, passando, assim, para um novo parâmetro com os mesmos procedimentos. A topologia da rede montada pode ser visualizada na Figura 11.

3.5 Métricas de avaliação

Para se fazer um estudo comparativo, as saídas geradas pela RNA, junto aos dados reais de um dia no refeitório, foram empregadas em métricas para verificar o quão dispersos os resultados ficaram em relação aos dados reais. Para isso, as duas principais medidas utilizadas foram REQm e o POCID.

3.5.1 Raiz do Erro Quadrático Médio (REQm)

Essa métrica é utilizada para avaliar estatisticamente resultados nas mais diversas situações. O REQm equivale

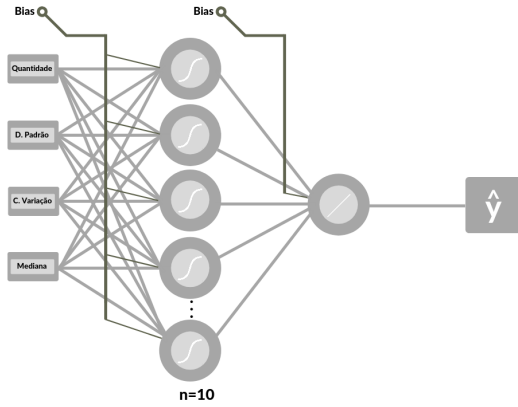


Figura 11: Topologia da RNA proposta

Fonte: acervo do autor

à raiz da distância Euclideana média entre as estimativas e os correspondentes parâmetros, apresentados na Equação (2).

$$REQM = \sqrt{\sum_i \frac{(y_i - \hat{y})^2}{n}} \quad (2)$$

Em que $\sum_i$ é o somatório de n termos, sendo y_i o valor estimado; $\hat{y}$, o valor real; e n , a quantidade total de termos. Assim, é caracterizado pela raiz da soma das diferenças entre o valor de y_i e $\hat{y}$, elevado ao quadrado, controlado pelo número de elementos.

3.5.2 Prediction On Change In Direction (POCID)

A métrica POCID é utilizada para cálculo de percentual de acerto quanto à previsão da alteração da direção, no caso de séries temporais, ou seja, suas subidas e descidas. A sua representação é dada na Equação (3).

$$POCID = 100 \frac{\sum_{t=1}^n D_t}{n} \quad (3)$$

Sabendo-se que:

$$\begin{cases} D_t = 1 & , \text{ se } (target_t - target_{t-1}) \cdot (output_t - output_{t-1}) > 0 \\ D_t = 0 & , \text{ caso contrário.} \end{cases} \quad (4)$$

Em que *target* representa os elementos reais, sendo t referente ao momento do somatório, e *output*, aos valores de saída da RNA. Já n diz respeito à quantidade total de elementos. O POCID terá resultado entre 0 e 100, e, quanto mais próximo de 100, melhor será o modelo de previsão.

Tais métricas foram importantes, pois demonstraram o quanto estava sendo efetivo o algoritmo no trabalho realizado, ao mesmo tempo que permitiu comparações entre essas para uma discussão mais efetiva dos resultados. Assim sendo, as métricas possibilitaram verificar o comportamento dos testes.

4 Resultados

Aplicado os passos da metodologia, partiu-se, então, para a análise dos resultados obtidos pela RNA, verificando as melhores performances durante os testes realizados, como demonstrado na Figura 12 para o erro iterativo de época a época pode-se observar como a convergência da rede se comportou durante a etapa de treinamento.

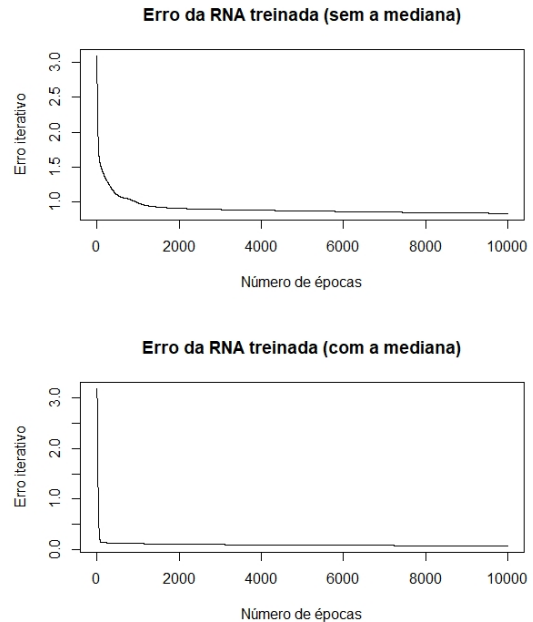


Figura 12: Comparativo do erro iterativo época a época

Fonte: acervo do autor

Com o modelo gerado, foram realizados cinco testes com as amostras de treino. Nesse sentido, foram plotados gráficos comparativos entre os valores esperados e os preditos, bem como dois gráficos para cada teste, sendo um desses sem os valores de mediana, inseridos no treinamento da rede, e outro com a mesma inserida. Isso foi feito porque o cálculo da mediana foi o parâmetro que mais ajustou a rede, para atingir o valor real dos intervalos médios, em cada fatia de tempo. Esse fato acontece porque a mediana não é afetada por valores extremos, representando a centralização dos dados de maneira mais eficiente. Os gráficos podem ser vistos nas Figuras 13 a 17.

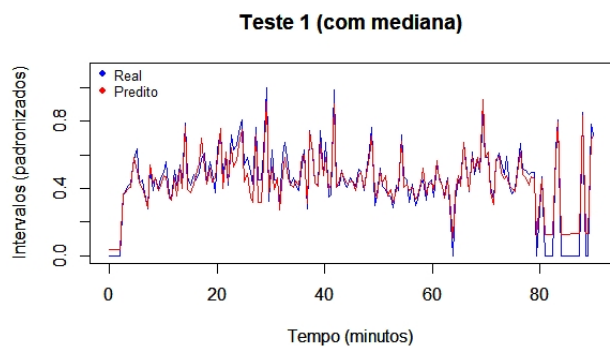
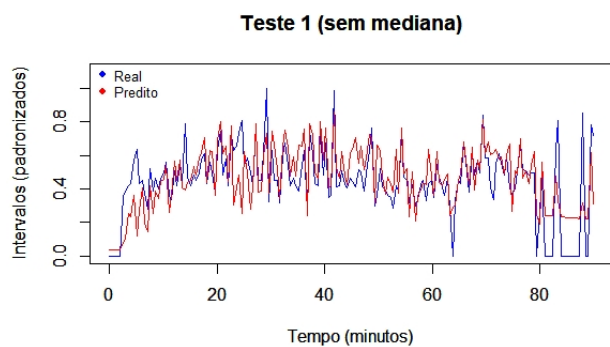


Figura 13: Comparativo Teste 1

Fonte: acervo do autor

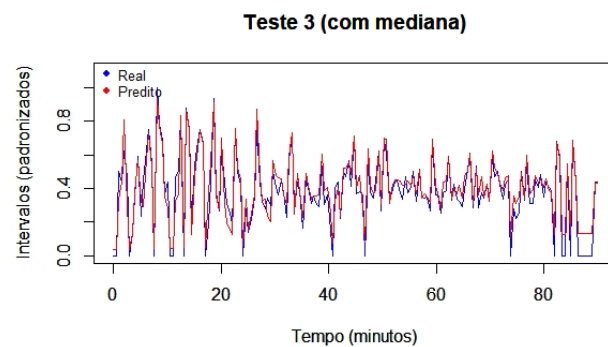
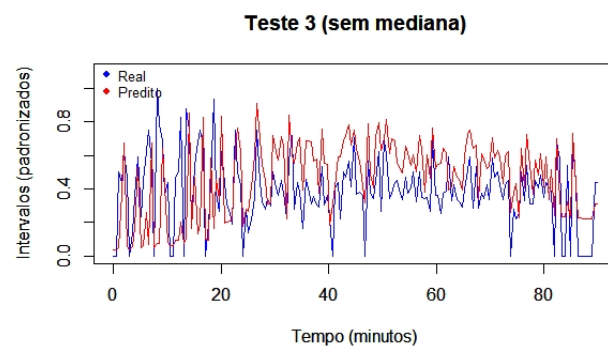


Figura 15: Comparativo Teste 3

Fonte: acervo do autor

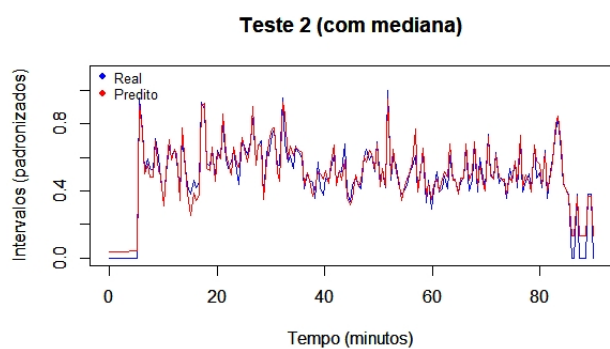
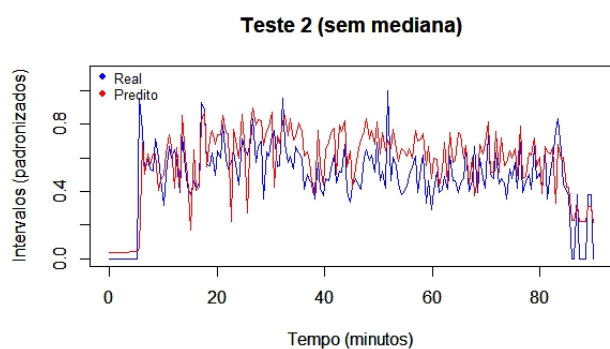


Figura 14: Comparativo Teste 2

Fonte: acervo do autor

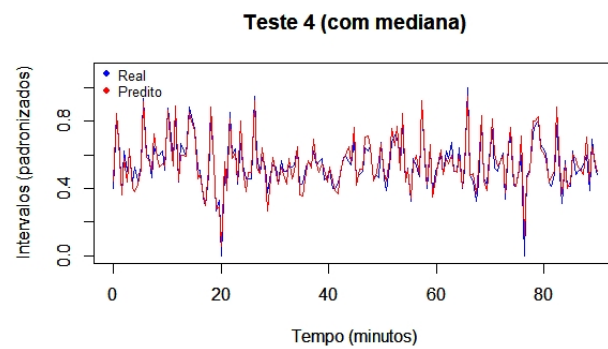
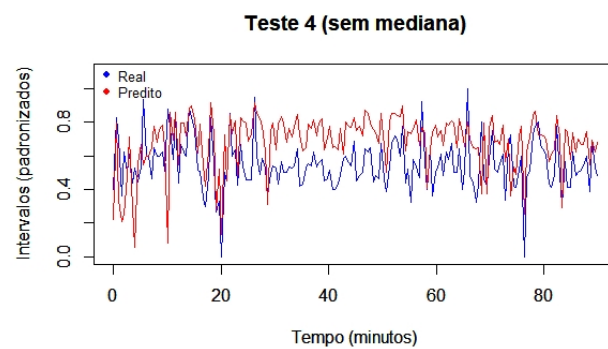


Figura 16: Comparativo Teste 4

Fonte: acervo do autor

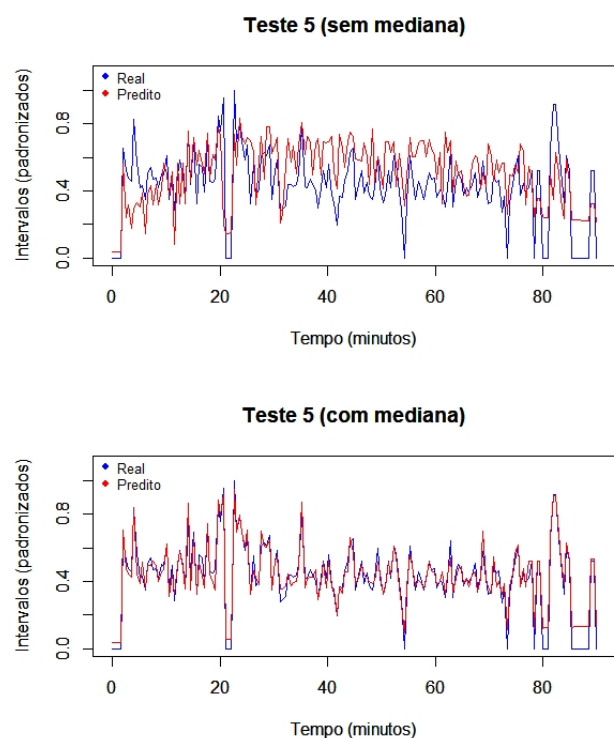


Figura 17: Comparativo Teste 5

Fonte: acervo do autor

Como se pode notar, no comparativo dos gráficos, ficou demonstrado que o uso da mediana influenciou bastante no comportamento da predição, descrevendo graficamente resultados similares aos reais. Já quanto à REQM e POCID, podem ser vistas as Tabelas 1 e 2, seguindo a mesma linha de comparação feita anteriormente com a mediana, para seus valores.

Tabela 1 Cálculos de REQM.

	sem mediana	com mediana
Teste 1	0,154	0,062
Teste 2	0,173	0,050
Teste 3	0,244	0,066
Teste 4	0,208	0,048
Teste 5	0,196	0,054

Analisando-se os valores da Tabela 1, nota-se que sem a mediana, eles ficaram na faixa de 15,4% a 24,4% de erro. Já com a inserção desta como parâmetro de entrada, o erro passou a ficar na faixa de 4,8% a 6,6%, podendo-se notar uma melhora nos resultados por volta de 10% quando analisada a métrica de REQM.

Com o POCID, a faixa de acerto do direcionamento, de acordo com a regressão gerada sem a mediana, se deu entre 60,5% e 77,2%, e, com ela, teve-se uma faixa de acerto de 79,4% a 86,1%, havendo assim, uma melhora por volta de 12%, em média.

Apesar das métricas serem de contexto bem diferentes, é interessante notar algumas análises. Quando ob-

Tabela 2 Cálculos de POCID.

	sem mediana	com mediana
Teste 1	70%	79,4%
Teste 2	70,5%	82,7%
Teste 3	70,1%	86,1%
Teste 4	77,2%	85%
Teste 5	60,5%	80%

servadas as variações dos valores com e sem a mediana, para os testes um e dois, eles se mostraram bastante condizentes quando comparados os valores de REQM e POCID, pois, ao passo que o primeiro diminuiu, o segundo aumentou, respectivamente, quase na mesma proporção. Já para os testes três, quatro e cinco, essa equivalência não se deu de forma tão acentuada, mas claramente na mesma direção.

Ainda no raciocínio comparativo, destacam-se o testes três e cinco, devido ao fato de suas variações entre as métricas terem sido bastante diferentes. Isso pode ser justificado, primeiramente, observando-se como se deu o comportamento visual do dia analisado por meio dos gráficos, notando-se uma oscilação muito mais acentuada, o que induz a uma dificuldade maior de ajuste da rede. Há, também, alguns quesitos externos que podem ser influenciadores nesse sentido. Por exemplo, dias próximos a feriados, que ocorreram durante as coletas, o que interferiu bastante no comportamento da fila, bem como outros fatores, por exemplo, dias de sexta-feira, que, em geral, possuem um fluxo mais variável, sendo isso observado durante as coletas.

Assim sendo, considerando-se todas essas análises, pôde-se verificar que os resultados atingidos foram desejáveis, indicando uma boa atuação da RNA no papel da predição dos intervalos. Os valores de REQM foram relativamente baixos, sendo que, quanto menores, melhor o desempenho da rede. Já os valores do POCID demonstraram-se bons, uma vez que eles mostram se as alterações dos valores comparados a cada iteração (real e predito) aconteceram na mesma direção.

5 Conclusões

O principal intuito deste trabalho foi aplicar conhecimentos, desde a metodologia científica em experimentos, passando por análises estatísticas, até a aplicação de técnicas computacionais, todas essas com a finalidade do estudo de caso feito no refeitório do IFMG-Campus Bambuí, objetivando prever intervalos de tempos, por meio dos datasets montados. Os resultados se mostraram promissores, pois atingiram as expectativas desejadas. E muito mais importante, foi necessário um rigor técnico para que este estudo fosse realizado.

Alguns pontos foram observados fora do contexto da RNA ao longo do experimento. Os tipos de alimentos e talheres dispostos para os usuários refletem diretamente no tempo e velocidade que a fila anda. O fato de um garfo grande - de dois dentes - ser colocado para servir espa-

guete causou um gargalo considerável, fazendo com que o atendimento terminasse fora do horário determinado, por exemplo.

A limitação do cronograma e o processo não automatizado de coleta acabaram por não permitir resultados mais enfáticos. O ideal seria um sistema automatizado totalmente dedicado a esse objetivo. Com a implantação do novo sistema de pagamento, a automatização do processo pode ser facilitada, ficando como sugestão de continuidade para o estudo, uma vez que amostras mais robustas permitem que a RNA aumente sua performance.

A demanda de atendimento no refeitório, ao longo dos dias, sofre influência de alguns fatores, como feriados e também os horários dispostos, que cada pessoa tem ao longo de sua vida acadêmica. Assim, não se pode afirmar que o comportamento de duas quintas feiras serão parecidos. Isso faz com que o processo se torne mais complexo, ao passo que o uso de dados estatísticos se tornou mais desafiador para formar as estratégias empregadas.

Outro ponto para continuidade refere-se à aplicação de outros métodos para previsão, fazendo um comparativo de resultados. Nota-se que a área referente à Ciência de Dados é muito extensa, tornando sua aplicabilidade muito ampla, podendo ser desde o uso de uma RNA até a fusão de várias outras técnicas, atingindo objetivos como previsão e otimização em dados e processos.

Referências

- [1] Marisa Baptistella, Maria Teresinha Arns Steiner, and Anselmo Chaves Neto. O uso de redes neurais e regressão linear múltipla na engenharia de avaliações: Determinação dos valores venais de imóveis urbanos. Diss., Universidade Federal do Paraná, 2005.
- [2] Vic Barnett and Toby Lewis. Outliers in statistical data. Wiley, 1974.
- [3] Ivan Nunes da Silva, Danilo Hernane Spatti, and Rogério Andrade Flauzino. Redes Neurais Artificiais Para Engenharia E Ciências Aplicadas - Curso Prático. ARTLIBER, 2010.
- [4] Antônio de Pádua Braga, A. P. L. F. Carvalho, and Teresa Bernarda Ludemir. Fundamentos de redes neurais artificiais. Rio de Janeiro: 11a Escola de Computação, 1998.
- [5] Norman Gaither and Greg Frazier. Administração da produção e operações. Pioneira Thomson Learning, 2001.
- [6] Ricardo André Guarnieri. Emprego de redes neurais artificiais e regressão linear múltipla no refinamento das previsões de radiação solar do modelo eta. Master's thesis, 2006.
- [7] Francielly Hedler Staudt, Mirian Buss Gonçalves, and Carlos Manuel Taboada Rodriguez. Procedimento para implantar um modelo de previsão de demanda com incorporação de julgamento de especialistas. Production, 26(2), 2016.
- [8] Masoud Mahmoodi and Ali Naderi. Applicability of artificial neural network and nonlinear regression to predict mechanical properties of equal channel angular rolled al5083 sheets. Latin American Journal of Solids and Structures, 13(8):1515–1525, 2016.
- [9] G Manuel and JHC Pretorius. The significance of relevance trees in the identification of artificial neural networks input vectors. Journal of Energy in Southern Africa, 24:00 – 00, 01 2013.
- [10] Daniel Augusto Moreira. Administração da produção e operações. São Paulo, 2009.
- [11] Benício Barros Neto, Ieda Spacino Scarminio, and Roy Edward Bruns. Como Fazer Experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria. Bookman Editora, 2001.
- [12] Bruno Alberto Soares Oliveira, Servílio Assis, and Carlos Noll. Development of a prototype electrical energy monitoring system via internet/desenvolvimento de um protótipo de sistema de monitoramento de energia elétrica via internet. Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis, 12(1):48–61, 2019.
- [13] Bruno Alberto Soares Oliveira, Matheus Soares Nametala, Brayan Rawlison Castoril, Marcos Diego Catalano, and Ciniro Aparecido Leite Nametala. Avaliação de uma rede neural artificial como estimador temporal pluviométrico no sistema de abastecimento cantareira. Revista de Informática Aplicada, 14(1), 2018.
- [14] Andy Pole, Mike West, and Jeff Harrison. Applied Bayesian forecasting and time series analysis. Chapman and Hall/CRC, 2018.
- [15] Clemens Reimann, Peter Filzmoser, Robert Garrett, and Rudolf Dutter. Análise estatística dos dados explicada: estatística ambiental aplicada com R. Number Sirsi) i9780470985816. Wiley Online Library, 2008.
- [16] Adolfo Rene Santa Cruz Rodriguez and Camila Corrêa. Previsión de demanda intermitente con métodos de series de tiempo y redes neuronales artificiales: Estudio de caso. Dyna, 84(203):9–16, 2017.
- [17] Caston Sigauke. Forecasting medium-term electricity demand in a south african electric power supply system. Journal of Energy in Southern Africa, 28(4):54–67, 2017.



- [18] Panarat Srisaeng, Glenn Baxter, Steven Richardson, and Graham Wild. A forecasting tool for predicting australia's domestic airline passenger demand using a genetic algorithm. Journal of Aerospace Technology and Management, 7(4):476–489, 2015.
- [19] Josimar Tello-Maita and Agustín Marulanda-Guerra. Modelos de optimización para sistemas de potencia en la evolución hacia redes inteligentes: Una revisión. Dyna, 84(202):102–111, 2017.
- [20] Marisol Valencia-Cárdenas, Francisco Javier Díaz-Serna, and Juan Carlos Correa-Morales. Multi-product inventory modeling with demand forecasting and bayesian optimization. DYNA, 83(198):235–243, 2016.
- [21] Andreas S Weigend. Time series prediction: forecasting the future and understanding the past. Routledge, 2018.
- [22] Bogdan M Wilamowski and J David Irwin. Intelligent systems. CRC press, 2018.

